

Metaalbalansen van landbouwgronden

**Een analyse van de milieuhygiënische gevolgen van het gebruik
van reststromen en mestverwerkingsproducten als
meststof en bodemverbeteraar in de
Nederlandse akkerbouw en bloembollenteelt**



Instelling:	Open Universiteit
Faculteit:	Management, Science & Technology
Opleiding:	MSc. Environmental Sciences
Module:	N87318 – Afstudeeronderzoek
Auteur:	M.P.M. (Mark) Janssen
Studentnr.:	850926293
Datum:	25 januari 2015

Metaalbalansen van landbouwgronden

Een analyse van de milieuhygiënische gevolgen van het gebruik van reststromen en mestverwerkingsproducten als meststof en bodemverbeteraar in de Nederlandse akkerbouw en bloembollenteelt

Metal balances of arable land

An analysis of the environmental consequences of the use of residuals and products of animal manure processing as fertilizer and soil improver in Dutch agriculture and bulb cultivation

Afstudeercommissie

Voorzitter en eerste examiner: dr. W.P.M.F. (Wilfried) Ivens - Open Universiteit

Begeleider extern: dr. ir. P.F.A.M. (Paul) Römkens - Alterra Wageningen UR

Tweede examiner: dr. ir. A.L.E. (Angelique) Lansu - Open Universiteit

Afstudeercoördinator en secretaris: drs. P.C.W. (Pieter) Geluk - Open Universiteit

Foto omslag: Het toedienen van mineralenconcentraat op een aardappelveld met een sleepslangdoseersysteem (Burgers, 2011)

Voorwoord

Voor u ligt de scriptie van mijn afstudeeronderzoek van de MSc. opleiding Environmental Sciences aan de Open Universiteit. Het onderzoek is in de periode van januari tot en met december 2014 uitgevoerd bij Alterra Wageningen UR. Het is een zeer intensieve en tegelijkertijd leerzame periode geweest.

Allereerst wil ik Paul Römkens bedanken voor het feit dat hij mij de kans heeft gegeven om het afstudeeronderzoek uit te voeren bij Alterra Wageningen UR. Tevens wil ik hem ook danken voor de inhoudelijke begeleiding gedurende het gehele afstudeertraject. Daarnaast gaat mijn dank uit naar Phillip Ehlert, die mij de nodige kennis van de hedendaagse landbouwkundige praktijk heeft bij gebracht. Verder wil ik Wilfried Ivens en Angelique Lansu danken voor de inhoudelijke en procesmatige begeleiding vanuit de Open Universiteit. Tot slot wil ik mijn werkgever Waterschap De Dommel bedanken voor het feit dat zij mij de ruimte en flexibiliteit heeft geboden om de opleiding zo goed als mogelijk te kunnen combineren met mijn dagelijkse werk.

Mark Janssen

Januari 2015

Inhoudsopgave

Voorwoord

Inhoudsopgave

Samenvatting

Abstract

1.	Inleiding	11
1.1	Aanleiding	11
1.2	Wet- en regelgeving in beweging	11
1.3	Probleemstelling	13
1.4	Metaalbalansen	14
1.5	Doelstelling, onderzoeksvraag en deelvragen	14
1.6	Structuur van het rapport	15
2.	Theoretisch kader	16
2.1	Metaalbalansen: een literatuurverkenning	16
2.2	Meststoffen en bodemverbeteraars	19
2.2.1	Huidige wet- en regelgeving	19
2.2.2	Ontwikkelingen in wet- en regelgeving	19
2.2.3	Aanbod, samenstelling en grenswaarden voor zware metalen	20
2.3	Landbouwpraktijk betreffende de inzet van meststoffen en bodemverbeteraars	26
2.3.1	Inleiding	26
2.3.2	Gebruiksnormen voor dierlijke mest, stikstof, fosfaat en droge stof	26
2.3.3	De praktijk van inzet van meststoffen en bodemverbeteraars	27
3.	Methode van onderzoek	31
3.1	Afbakening van het onderzoek	31
3.2	Literatuuronderzoek	31
3.3	Keuze van het bouwplan	32
3.4	Gehanteerde bemestingsscenario's	33
3.5	Bemestingsmodel	33
3.6	Beschrijving toegepaste metaalbalansmodel	34
3.6.1	Atmosferische depositie	35
3.6.2	Meststoffen en bodemverbeteraars	35

3.6.3	Kalkmeststoffen	35
3.6.4	Uitloging	35
3.6.5	Metaal-afvoer door gewassen.....	36
3.6.6	Veranderingen van metaalgehalten in de bouwvoor.....	38
3.7	Metaalbalansmodel.....	39
3.8	Methode van dataverzameling	39
3.8.1	Dynamisch doorrekenen van de metaalbalans.....	39
3.8.2	Gevoeligheidsanalyse.....	40
3.8.3	Gehanteerde uitgangspunten	40
3.9	Aanpak van de data-analyse	41
3.9.1	Bodem en gewas	41
3.9.2	Grondwater.....	42
3.9.3	Oppervlaktewater	42
4.	Modelresultaten van de bemestingsscenario's.....	43
4.1	Belasting van bouwland met zware metalen.....	43
4.1.1	Akkerbouw.....	43
4.1.2	Bloembollenteelt.....	44
4.2	Metaalbalansen.....	45
4.2.1	Dynamiek van metaalbalansen.....	45
4.2.2	Zware metalen in bodem, gewas, grond- en oppervlaktewater	46
4.2.3	Gevoeligheidsanalyse.....	46
4.2.4	Toetsing modelresultaten aan bereik datasets modelcoëfficiënten	46
4.3	Toetsen milieuhygiënische kwaliteit aan (wettelijke) normen	47
4.3.1	Bodem en gewas	47
4.3.2	Grondwater.....	49
4.3.3	Oppervlaktewater	50
5.	Discussie en conclusie	52
5.1	Discussie.....	52
5.1.1	Interpretatie van de resultaten.....	52
5.1.2	Vergelijking met eerder uitgevoerde onderzoeken	54
5.1.3	Beperkingen van het onderzoek	56
5.2	Conclusie	57
5.3	Aanbevelingen voor verder onderzoek	61

Literatuur	62
Verklarende woordenlijst	69
Bijlagen	
Bijlage 1: Jaarlijkse vrachten nutriënten en zware metalen vanuit meststoffen en bodemverbeteraars naar de Nederlandse bodem	ii
Bijlage 2: Overzicht van de gehalten aan organische stof, N, P en metalen per mestsoort	ii
Bijlage 3: Zware metalen in kunstmeststoffen	iv
Bijlage 4: Gehalten aan zware metalen, N, P, K, organische stof en droge stof voor compost	v
Bijlage 5: Een afleiding van de samenstelling van digestaat	vi
Bijlage 6: Samenstelling van zuiveringsslib	viii
Bijlage 7: Samenstelling van dunne en dikke fractie na mestscheiding	ix
Bijlage 8: Samenstelling van mineralenconcentraten	x
Bijlage 9: Stikstofgebruiksnormen	xi
Bijlage 10: Werkingscoëfficiënten	xiii
Bijlage 11: Atmosferische depositie zware metalen	xv
Bijlage 12: Samenstelling Betacal	xvi
Bijlage 13: Modelcoëfficiënten partitierelaties bodem-grondwater	xvii
Bijlage 14: Yield akkerbouwgewassen en bloembollen	xxi
Bijlage 15: Modelcoëfficiënten bodem-plant relaties	xxii
Bijlage 16: Modelcoëfficiënten voor de omrekening van pH- waarden	xxiv
Bijlage 17: Zware metalen in akkerbouwgewassen	xxv
Bijlage 18: Modelcoëfficiënten voor het vaststellen van de bioconcentratiefactor voor lood	xxvii
Bijlage 19: Zware metalen in bloembolgewassen	xxviii
Bijlage 20: Kenmerken van bodemtypen	xxix
Bijlage 21: Bemestingsscenario's akkerbouw	xxx
Bijlage 22: Bemestingsscenario's bloembollenteelt	xxxi
Bijlage 23: Totale toevoer zware metalen akkerbouw (1)	xxxii
Bijlage 23: Totale toevoer zware metalen akkerbouw (2)	xxxiii
Bijlage 24: Totale toevoer zware metalen bloembollenteelt (1)	xxxvi
Bijlage 24: Totale toevoer zware metalen bloembollenteelt (2)	xxxvii
Bijlage 25: Modelresultaten van de scenario-berekeningen akkerbouw (Zand)	xl
Bijlage 26: Metaalbalansen van scenario A-1 akkerbouw (Zand)	xlii
Bijlage 27: Modelresultaten van de scenario-berekeningen akkerbouw (Fluviatiele klei)	xliv

Bijlage 28: Metaalbalansen van scenario A-1 akkerbouw (Fluviatiele klei)	xlvi
Bijlage 29: Modelresultaten van de scenario-berekeningen akkerbouw (Mariene klei)	xlvi
Bijlage 30: Metaalbalansen van scenario A-1 akkerbouw (Mariene klei)	l
Bijlage 31: Modelresultaten van de scenario-berekeningen bloembollenteelt (Zand – kalkrijk)	lii
Bijlage 32: Metaalbalansen van scenario K-1 bloembollenteelt (Zand – kalkrijk).....	liii
Bijlage 33: Metaalbalansen van scenario L-1 bloembollenteelt (Zand – kalkrijk)	lv
Bijlage 34: Gevoeligheidsanalyse scenario A-1 akkerbouw	lvii
Bijlage 35: Gevoeligheidsanalyse scenario K-1 bloembollenteelt	lviii
Bijlage 36: Toetsing modelresultaten akkerbouw aan bereik datasets modelcoëfficiënten	lix
Bijlage 37: Toetsing modelresultaten bloembollenteelt aan bereik datasets modelcoëfficiënten .	lxii
Bijlage 38: LAC-2006 waarden akkerbouw	lxiii
Bijlage 39: LAC-2006 waarden bloembollenteelt	lxiv
Bijlage 40: Streef- en interventiewaarden voor grondwater.....	lxv
Bijlage 41: Milieukwaliteitsnormen voor landoppervlaktewater	lxvi
Bijlage 42: Toetsresultaten van de scenario-berekeningen akkerbouw (Zand)	lxvii
Bijlage 43: Toetsresultaten van de scenario-berekeningen akkerbouw (Fluviatiele klei)	lxix
Bijlage 44: Toetsresultaten van de scenario-berekeningen akkerbouw (Mariene klei)	lxxi
Bijlage 45: Toetsresultaten van de scenario-berekeningen bloembollenteelt (Zand - kalkrijk) .	lxxiii
Bijlage 46: Overschrijdingen LAC-2006 waarden akkerbouw	lxxiv
Bijlage 47: Overschrijdingen LAC-2006 waarden bloembollenteelt	lxxv
Bijlage 48: Overschrijdingen streefwaarden grondwater akkerbouw (0-100 jaar)	lxxvi
Bijlage 49: Overschrijdingen streefwaarden grondwater bloembollenteelt (0-100 jaar)	lxxvii
Bijlage 50: Overschrijdingen streef- en interventiewaarden grondwater akkerbouw (>100 jaar)	lxxviii
Bijlage 51: Overschrijdingen streef- en interventiewaarden grondwater bloembollenteelt (>100 jaar)	lxxix
Bijlage 52: Overschrijdingen milieukwaliteitsnormen oppervlaktewater akkerbouw (0-100 jaar)....	lxxx
Bijlage 53: Overschrijdingen milieukwaliteitsnormen oppervlaktewater bloembollenteelt (0-100 jaar)	lxxxi
Bijlage 54: Overschrijdingen milieukwaliteitsnormen oppervlaktewater akkerbouw (>100 jaar)	lxxxii
Bijlage 55: Overschrijdingen milieukwaliteitsnormen oppervlaktewater bloembollenteelt (>100 jaar)	lxxxiii

Bijlage 56: Bemestingsmodel	lxxxiv
Bijlage 57: Metaalbalans akkerbouw	lxxxv
Bijlage 58: Metaalbalans bloembollenteelt	lxxxvi

Samenvatting

Meststoffen en bodemverbeteraars worden veelvuldig gebruikt in de akkerbouw en bloembollenteelt. Een negatief aspect verbonden aan het gebruik van deze hulpstoffen is de toevoer van zware metalen naar de bodem. De zware metalen worden voor een deel gebonden in de bodem. Daarnaast vindt ook uitloging naar het grondwater en opname door gewassen plaats. Op deze manier wordt door de inzet van meststoffen en bodemverbeteraars de kwaliteit van de bodem, het gewas en het grond- en oppervlaktewater negatief beïnvloed.

Momenteel lopen er verschillende ontwikkelingen welke in de nabije toekomst invloed kunnen hebben op het toepassen van meststoffen en bodemverbeteraars. De ontwikkelingen betreffen de uitvoering van de herziene Kaderrichtlijn Afvalstoffen (2008/98/EG), de revisie van de Verordening inzake meststoffen (EG 2003/2003) en de afweging tot een mogelijke herziening van de Zuiveringsslibrichtlijn (86/278/EEG). Een andere belangrijke ontwikkeling is de introductie van de mestverwerkingsplicht in Nederland per 1 januari 2014. Als gevolg van deze ontwikkelingen wordt het gebruik van andere dan tot op heden gebruikelijke meststoffen en bodemverbeteraars mogelijk gemaakt. Deze zijn aangeduid als reststromen (bestaande uit digestaat, zuiveringsslib, kunstmest en compost) en mestverwerkingsproducten (dunne en dikke fractie van dunne varkensmest en mineralenconcentraten).

De inzet van reststromen en mestverwerkingsproducten zal leiden tot een verandering van de zware metalen vrachten welke op de bodem worden gebracht. De daaruit voortvloeiende gevolgen voor de kwaliteit van de bodem, het gewas en het grond- en oppervlaktewater zijn vooralsnog niet bekend. Om hier inzicht in te krijgen is gebruik gemaakt van een dynamisch metaalbalansmodel voor een akkerbouwperceel met een vierjarige rotatie van aardappel, suikerbiet, zomertarwe en mais. Voor de bollenteelt is uitgegaan van de driejarige rotatie van hyacint, narcis en tulp. Door middel van het metaalbalansmodel is voor verschillende bemestingsscenario's en bodemtypen de ontwikkeling van de metaalgehalten en -concentraties in de bodem, het gewas en het grondwater in de loop van de tijd vastgesteld. Door deze modelresultaten vervolgens af te zetten tegen de geldende kwaliteitsnormen is inzicht verkregen in de ontwikkeling van de kwaliteit.

Een veel voorkomend bemestingsscenario voor de genoemde gewasrotatie bij de akkerbouw betreft de inzet van dunne varkensmest aangevuld met kalkammonsalpeter en eventueel fosfaatkunstmest. Afgezet tegen deze referentie leidt vervanging van de dunne varkensmest door digestaat of zuiveringsslib tot een verslechtering van de kwaliteit van de bodem, het gewas, het grond- en/of oppervlaktewater. Een duidelijk beter alternatief voor dunne varkensmest is de inzet van de dunne fractie van varkensmest of mineralenconcentraat.

In de bollenteelt wordt veelvuldig gebruik gemaakt van GFT-compost en vaste rundveestalmest. Met betrekking tot de milieuhygiënische kwaliteit in relatie tot zware metalen verdient de inzet van vaste rundveestalmest duidelijk de voorkeur. Een goed alternatief voor GFT-compost is de inzet van zuiveringsslib.

De in het kader van de herziene Kaderrichtlijn Afvalstoffen (2008/98/EG) en de lopende revisie van de Verordening inzake meststoffen (EG 2003/2003) voorgestelde concept-grenswaarden voor zware metalen in GFT-compost, digestaat en kunstmest, leiden tot een verslechtering van de kwaliteit van de bodem, het gewas en het grond- en/of oppervlaktewater.

Abstract

Fertilizers and soil improvers are used frequently in agriculture and bulb cultivation. A negative aspect related to the use of these additives is the supply of heavy metals to the soil. A part of these heavy metals is bound in the soil. The remaining part will leach to the groundwater and will be taken up by crops. In this way fertilizers and soil improvers will deteriorate the quality of the soil, the crops, the groundwater and the surface water.

At the moment there are several developments which may be influence the use of fertilizers and soil improvers in the near future. The developments are related to the implementation of the revised Waste Framework Directive (2008/98/EC), the revision of the Regulation relating to Fertilizers (EC 2003/2003) and the possible revision of the Sewage Sludge Directive (86/278/EEC). Another important development is the obligation of manure processing in the Netherlands since January 1, 2014. Due to these developments the use of other than conventional fertilizers and soil improvers will be made possible. These are referred to as residuals (consisting of digestate, sewage sludge, fertilizer and compost) and products of animal manure processing (thin and thick fraction of pig manure and mineral concentrate).

The use of residuals and products of animal manure processing will change the heavy metal loads to the soil. The resulting impacts on the quality of the soil, the crops, the groundwater and surface water are not yet known. In order to clarify this use was made of a dynamic metal balance model of an agricultural plot with a four year crop rotation of potato, sugar beet, spring wheat and corn. A three year rotation of hyacinth, daffodil and tulip is used for bulb cultivation. For different fertilizer scenarios and soil types the evolution of the metal concentrations in the soil, the crops and groundwater was modelled. Through confronting the model results with applicable quality standards insight into the development of the quality was gained.

A conventional fertilizer scenario for the arable crop rotation mentioned above is the use of pig manure supplemented by calcium ammonium nitrate and eventually phosphate fertilizer. Replacement of pig manure by digestate or sewage sludge will deteriorate the quality of the soil, the crops, the groundwater and the surface water. A much better alternative to pig manure is the use of the thin fraction of pig manure or mineral concentrate.

Bulb cultivation makes extensively use of bio-waste compost and solid cattle manure. Based on the environmental effects of heavy metals the use of solid cattle manure is preferred above bio-waste compost. Sewage sludge is a good alternative for bio-waste compost.

The Waste Framework Directive (2008/98/EC) and the revision of the Regulation relating to Fertilizers (EC 2003/2003) induce concept maximum levels of heavy metals in bio-waste compost, digestate and fertilizer which will deteriorate the quality of the soil, the crops, the groundwater and surface water.

1. Inleiding

1.1 Aanleiding

Meststoffen en bodemverbeteraars worden vanuit het oogpunt van productieverhoging wereldwijd veelvuldig toegepast in de landbouw. Een negatief aspect wat direct samenhangt met het gebruik van meststoffen en bodemverbeteraars is de aanvoer van zware metalen naar landbouwgronden (Westhoek et al., 1996). Bijlage 1 geeft inzicht in de jaarlijkse vrachten en herkomst van zware metalen welke in Nederland (in 2010/2011) via meststoffen en bodemverbeteraars op of in de bodem zijn gebracht. Momenteel lopen er verschillende trajecten voor het aanpassen van wet- en regelgeving aangaande de inzet van meststoffen en bodemverbeteraars in de landbouw. Een gevolg daarvan kan zijn dat de aanvoer van zware metalen naar landbouwgronden in de toekomst zal veranderen.

1.2 Wet- en regelgeving in beweging

In 2005 heeft de Europese Commissie een thematische strategie inzake afvalpreventie en afvalrecycling opgesteld. De langetermijndoelstelling van deze strategie is om "van de EU een recyclinggerichte samenleving te maken die afvalproductie probeert te vermijden en afvalstoffen als hulpbronnen weet te benutten" (Commissie van de Europese Gemeenschappen, 2005, p. 6). Een belangrijk milieuvoordeel welke deze strategie kan opleveren is een vermindering van de uitstoot van broeikasgassen "door nog meer huishoudelijk afval te composteren, te recyclen en er energie uit terug te winnen in plaats van het te storten" (Commissie van de Europese Gemeenschappen, 2005, p. 11).

De strategie is vervolgens opgenomen in de herziene Kaderrichtlijn Afvalstoffen (2008/98/EG). In de overwegingen van de richtlijn is de volgende doelstelling opgenomen: "Deze richtlijn moet ertoe bijdragen de EU meer tot een "recyclingmaatschappij" te maken, waarbij gepoogd wordt de productie van afval te voorkomen en afvalstoffen als Grondstof te gebruiken" (Europese Unie, 2008, p. 6). Het stimuleren van het composteren van bio-afval vormt een belangrijke component van de richtlijn. Dit wordt ingegeven door het streven naar het recyclen van nutriënten en het terugdringen van de broeikasgasemissies vanuit afvalstortplaatsen (Europese Unie, 2008). De richtlijn verplicht de lidstaten het gescheiden inzamelen van bio-afval te stimuleren, met het oog op het composteren en vergisten van datzelfde bio-afval (Europese Unie, 2008). In de richtlijn wordt tevens gemeld dat de lidstaten passende maatregelen dienen te nemen voor het stimuleren van het gebruik van het materiaal (zoals compost en digestaat) dat is ontstaan bij de verwerking van het bio-afval. In dit licht kijkt de Europese Commissie ook naar de mogelijkheid voor het vaststellen van kwaliteitscriteria ('end-of-waste' criteria) voor compost en digestaat, zodat deze op een voor mens en milieu verantwoorde manier kunnen worden in gezet als meststof of bodemverbeteraar in de landbouw (Europese Unie, 2008). Bepaalde compost- en digestaatstromen voldoen aan de 'end-of-waste' criteria zoals deze voortvloeien uit de Kaderrichtlijn Afvalstoffen (2008/98/EG) (Saveyn & Eder, 2014). Hierdoor is het niet onwaarschijnlijk dat, in het kader van de 'end-of-waste' benadering, (organische) stoffen (in de vorm van compost- en digestaatstromen) op de markt komen, welke zullen worden toegepast als meststof of bodemverbeteraar in de landbouw.

Een andere ontwikkeling is het momenteel lopende revisie-traject van de Europese meststoffenregelgeving. Het verhandelen en toepassen van meststoffen is op Europees niveau gereguleerd door de Verordening inzake meststoffen (EG 2003/2003). De huidige Europese regelgeving omvat echter slechts een deel van de anorganische meststoffen (Van Dijk Management Consultants, Arcadia International, & BiPRO, 2012). De verordening is alleen van toepassing op producten die met de aanduiding 'EG-meststof' in de handel worden gebracht. Dit betreffen de

typen producten welke als zodanig in Bijlage I van de verordening zijn opgenomen en welke tegelijkertijd voldoen aan de in de verordening gestelde voorwaarden (Europese Unie, 2003). Andere typen meststoffen en bodemverbeteraars (waaronder organische meststoffen en kalkmeststoffen) zijn niet opgenomen in de verordening, maar vallen onder de nationale wet- en regelgeving van de lidstaten (Van Dijk Management Consultants et al., 2012). In tabel 2.1 is een overzicht opgenomen van de momenteel geldende meststoffenwetgeving.

Met de herziening van de Verordening inzake meststoffen worden een aantal beleidsdoelstellingen nagestreefd (Van Dijk Management Consultants et al., 2012). Als eerste dient de interne markt te worden bevorderd. Enerzijds door het verzekeren van het vrije verkeer van meststoffen en bodemverbeteraars tussen alle lidstaten en anderzijds door het creëren van een level-playing field voor alle verhandelbare meststoffen. Het bereik van de verordening dient derhalve te worden uitgebreid naar alle soorten meststoffen en producten die niet van dierlijke oorsprong zijn (uitgezonderd meststoffen met bijmenging van maximaal 50% dierlijke meststoffen), zodat onder andere ook overige anorganische meststoffen, organische meststoffen en bodemverbeteraars via deze verordening worden gereguleerd (Technische commissie bodem, 2012; Van Dijk Management Consultants et al., 2012). Dit betreft eveneens de (organische) afvalstoffen, welke voldoen aan de 'end-of-waste' criteria uit de Kaderrichtlijn Afvalstoffen (2008/98/EG), waardoor deze als (grondstof voor) meststoffen (zoals compost en digestaat) kunnen worden gebruikt (Technische commissie bodem, 2012). Ten tweede dient door de nieuwe regelgeving de marktwerking in de meststoffenindustrie te worden aangewakkerd, wat onder meer zou moeten resulteren in een hogere efficiëntie met betrekking tot het gebruik van de meststoffen. Een mogelijke consequentie van de herziening van de verordening, waardoor voor alle Europese lidstaten dezelfde samenstellingsnormen gaan gelden, is dat er in Nederland (en ook in de andere lidstaten) meststoffen en bodemverbeteraars worden toegelaten welke voorheen in zijn geheel, of in een dergelijke samenstelling, niet waren toegestaan.

Verder is er nog sprake van een ontwikkeling welke aansluit bij de eerder genoemde thematische strategie inzake afvalpreventie en afvalrecycling van de Europese Commissie. De Europese Commissie kijkt momenteel de noodzaak voor een eventuele revisie van de Richtlijn 'betreffende de bescherming van het milieu, in het bijzonder de bodem, bij het gebruik van zuiveringsslib in de landbouw'; kortweg Zuiveringsslibrichtlijn (86/278/EEG) genoemd. Dit naar aanleiding van de toegenomen productie van zuiveringsslib. Daarnaast is er sprake van een erkenning van de noodzaak voor het beschouwen van recent wetenschappelijk onderzoek betreffende het gebruik van zuiveringsslib in de landbouw (Milieu Ltd, WRc, & RPA, 2008). Om een besluit te kunnen nemen over de noodzaak tot een eventuele revisie zijn een aantal opties voor revisie beschouwd, waarbij de economische, sociale en milieukundige aspecten in beeld zijn gebracht. De bestudeerde opties bestaan uit het handhaven van de huidige situatie, het aanscherpen van de grenswaarden, het verbieden van het gebruik van zuiveringsslib in de landbouw en het intrekken van de Zuiveringsslibrichtlijn (Milieu Ltd et al., 2008). Een besluit over al dan geen revisie en de vorm waarop is tot op heden nog niet genomen. Mocht er tot een herziening van de richtlijn worden besloten dan kan de uitkomst mogelijk consequenties hebben voor de mate waarin in Nederland zuiveringsslib als meststof en bodemverbeteraar wordt toegepast in de landbouw.

Een laatste in het kader van dit onderzoek relevante ontwikkeling is de vanaf 1 januari 2014 geldende mestverwerkingsplicht in Nederland. Deze plicht geldt voor een veehouder in het geval zijn veestapel meer mest produceert dan er op de landbouwgronden van zijn eigen bedrijf kan worden uitgereden (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, z.j. d). Het mestoverschot wordt bepaald door de hoeveelheid mest (uitdrukt in fosfaat) welke op het bedrijf wordt geproduceerd te verminderen met de fosfaatgebruiksruimte voor de landbouwgronden. Afhankelijk van de regio in

Nederland zal een bepaald deel van het mestoverschot (Zuid = 30%; Oost = 15% en Overig = 5%) verwerkt moeten worden (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, z.j. f). Een vorm van mestverwerking welke wordt toegepast is mestscheiding, waarbij een dikke en een dunne fractie ontstaat. De producten als resultaat van mestverwerkingsprocessen wijken sterk af van het oorspronkelijke uitgangspunt (onbewerkte mest). Er is onder andere sprake van een gewijzigde verhouding tussen de waardegevendende bestanddelen en de gehalten aan zware metalen (Ehlert & Hoeksma, 2011). De dikke fractie wordt binnen de Nederlandse landbouw afgezet, of geëxporteerd naar het buitenland (Schoumans, Ehlert, Rulkens, & Oenema, 2012). De dunne fractie wordt als alternatief voor dunne varkens- of rundveemest (drijfmest) afgezet in de Nederlandse landbouw. Aanvullend kan de dunne fractie door een industrieel proces gebaseerd op omgekeerde osmose worden opgewerkt tot mineralenconcentraat (Ehlert & Hoeksma, 2011). Er wordt naar gestreefd om vanuit de Europese Unie toestemming te krijgen om mineralenconcentraten in te zetten als volwaardig kunstmestvervanger (Ehlert & Hoeksma, 2011).

1.3 Probleemstelling

De ontwikkelingen op het gebied van Europese regelgeving voor afval- en meststoffen (2008/98/EG respectievelijk EG 2003/2003) en zuiveringsslib (86/278/EEG) kunnen leiden tot hogere grenswaarden voor zware metalen in de momenteel in Nederland toegepaste meststoffen en bodemverbeteraars. Tegelijkertijd kan door veranderingen in wet- en regelgeving een situatie ontstaan dat op Nederlandse landbouwgronden het gebruik van andere dan tot op heden gebruikelijke meststoffen en bodemverbeteraars mogelijk wordt gemaakt of zelfs wordt gestimuleerd.

In relatie tot het voorgaande wordt onderscheid gemaakt tussen reststromen en mestverwerkingsproducten. Een reststroom is een meststof of bodemverbeteraar welke op basis van de huidige Nederlandse wetgeving, in zijn geheel of op basis van het gehalte aan zware metalen, niet mag worden toegepast in de Nederlandse landbouw, maar mogelijk - naar aanleiding van de herziening van de Europese Verordening inzake meststoffen (EG 2003/2003), de 'end-of-waste' benadering van de Richtlijn afvalstoffen (2008/98/EG) of de (eventueel herziene) Richtlijn voor het gebruik van zuiveringsslib in de landbouw (86/278/EEG) - in de nabije toekomst wél mag worden toegepast. Onder die categorie vallen digestaat, zuiveringsslib, kunstmest en compost. In het geval van mestverwerkingsproducten betreft het concreet de dunne en dikke fractie van dunne varkensmest en mineralenconcentraten.

De inzet van reststromen en mestverwerkingsproducten kan leiden tot een verandering van de zware metalen vrachten naar de bodem. In de bodem worden zware metalen gebonden aan lutum en organische stof (Westhoek et al., 1996). De metalen worden in meer of mindere mate opgenomen door het gewas en de rest spoelt uit naar het grond- en oppervlaktewater (De Vries, Römkens, Van Leeuwen, & Bronswijk, 2002; De Vries, Römkens, & Voogd, 2004; Groenenberg, Römkens, & De Vries, 2006; Westhoek et al., 1996). De gevolgen voor de milieuhygiënische kwaliteit van de bodem, het gewas en het grond- en oppervlaktewater zijn vooralsnog niet bekend. In dat licht is het van belang om de effecten op de kwaliteit van de bodem, het gewas en het grond- en oppervlaktewater inzichtelijk te maken, zodat een beeld wordt verkregen van de milieuhygiënische risico's welke kunnen optreden bij het gebruik van reststromen en mestverwerkingsproducten.

1.4 Metaalbalansen

Om inzicht te verkrijgen in de ontwikkeling van de milieu- en gewaskwaliteit kan gebruik worden gemaakt van metaalbalansen. Een metaalbalans geeft de belangrijkste aan- en afvoerposten van zware metalen naar en vanuit de bodem. De aanvoerposten worden gevormd door meststoffen, bodemverbeteraars en atmosferische depositie. De opname van zware metalen door gewassen en de uitloging naar het grondwater zorgen voor de afvoer van zware metalen (De Vries et al., 2002). Op basis van de in- en uitgaande metaalvruchten kan voor de bodem de metaal-accumulatie (of release in het geval van negatieve accumulatie) worden berekend (Groenenberg et al., 2006). Inzicht in de ontwikkeling van de metaal-accumulatie of -release in de loop van de tijd kan worden verkregen door het hanteren van een modelmatige benadering, waarbij de dynamica van de opname en uitloging is gerelateerd aan het metaalgehalte van de bodem (Groenenberg et al., 2006). Door middel van de dynamische doorrekening van de metaalbalans kan het verloop van de zware metalen gehalten of concentraties in de bodem, het gewas en het grondwater worden vastgesteld. Inzicht in de kwaliteit wordt vervolgens gerealiseerd door de berekende gehalten en concentraties van zware metalen te toetsen aan de daarvoor geldende normen.

1.5 Doelstelling, onderzoeksvraag en deelvragen

Voor dit onderzoek is de volgende doelstelling geformuleerd:

Het inzichtelijk maken van de milieuhygiënische korte- en langetermijneffecten als gevolg van het toepassen van metaalhoudende reststromen en mestverwerkingsproducten als meststof en bodemverbeteraar in de Nederlandse akkerbouw en bloembollenteelt, door een analyse te maken van de toekomstige ontwikkeling van de kwaliteit van de bodem, het gewas en het grond- en oppervlaktewater.

Het voorgaande is vertaald in de volgende onderzoeksvraag:

Wat zijn, als gevolg van de inzet van reststromen en mestverwerkingsproducten in de Nederlandse akkerbouw en bloembollenteelt, de korte- en langetermijnontwikkelingen voor de metaalbalansen op perceelsniveau en de daaraan gerelateerde consequenties voor de kwaliteit van de bodem, het gewas en het grond- en oppervlaktewater?

De onderzoeksvraag is uitgesplitst in de volgende deelvragen:

1. Welke reststromen en mestverwerkingsproducten komen, in welke hoeveelheden en samenstelling, in aanmerking voor het inzetten als meststof en/of bodemverbeteraar?
2. Wat is voor bouwland de gemiddelde jaarlijkse belasting met zware metalen bij het gebruik van reststromen en mestverwerkingsproducten als meststof en/of bodemverbeteraar?
3. Op welke wijze veranderen de hoeveelheden zware metalen in bodem, gewas, grond- en oppervlaktewater bij het structureel toepassen van reststromen en mestverwerkingsproducten als meststof en/of bodemverbeteraar?
4. Leidt het structureel toepassen van reststromen en mestverwerkingsproducten als meststof en/of bodemverbeteraar tot overschrijding van (wettelijke) normen van zware metalen voor de bodem, het gewas en het grond- en oppervlaktewater?
5. Binnen welke termijn wordt een eventuele overschrijding van de (wettelijke) normen verwacht?

1.6 Structuur van het rapport

In het eerst volgende hoofdstuk is het theoretisch kader beschreven. Daarin is een literatuurverkenning over het gebruik van metaalbalansen in relatie tot de inzet van meststoffen en bodemverbeteraars opgenomen. Verder wordt ingegaan op wet- en regelgeving, aanbod, samenstelling en de gangbare landbouwpraktijk met betrekking tot meststoffen en bodemverbeteraars. Vervolgens is in hoofdstuk 3 de gehanteerde methode van het onderzoek verwoord. Een beschrijving van de onderzoeksresultaten volgt in hoofdstuk 4. Tot slot zijn in hoofdstuk 5 de onderzoeksresultaten bediscussieerd en zijn er conclusies aan verbonden.

2. Theoretisch kader

2.1 Metaalbalansen: een literatuurverkenning

Metaalbalansen zijn in het kader van diverse onderzoeken gebruikt om inzicht te krijgen in de accumulatie van zware metalen in de bodem. Onderstaand wordt een aantal van deze onderzoeken aangehaald. Dit om een beeld te schetsen van de context waarin de onderzoeken zijn uitgevoerd en welke resultaten dit heeft opgeleverd.

Door Chen, Chang en Wu (2007) is onderzoek uitgevoerd naar de accumulatie van arseen en cadmium in de landbouwgronden (zandige leemgronden) van Californië (Verenigde Staten). In het betreffende onderzoek is gekeken naar de effecten van het toepassen van fosfaathoudende kunstmeststoffen. De in het onderzoek betrokken gewassen zijn niet nader gespecificeerd. Door middel van een dynamische metaalbalans is een doorrekening gemaakt voor de komende 100 jaar. In het geval van arseen veranderen de balansposten (vaste aanvoer = $31,5 \text{ g.ha}^{-1}.\text{jaar}^{-1}$; opname door planten = $4,84 \rightarrow 4,89 \text{ g.ha}^{-1}.\text{jaar}^{-1}$; uitloging naar het grondwater = $29,11 \rightarrow 29,41 \text{ g.ha}^{-1}.\text{jaar}^{-1}$) nagenoeg niet in de beschouwde periode. Er is sprake van een negatieve accumulatie ($-2,44 \rightarrow -2,76 \text{ g.ha}^{-1}.\text{jaar}^{-1}$), of wel release. Het arseengehalte in de bodem ($7,7 \text{ mg.kg}^{-1}$ droge stof) en de concentratie in het grondwater ($6,7 \mu\text{g.l}^{-1}$) blijven in de beschouwde periode nagenoeg gelijk. Bij cadmium veranderen de balansposten wel aanzienlijk: opname door planten = $3,96 \rightarrow 7,46 \text{ g.ha}^{-1}.\text{jaar}^{-1}$; uitloging = $1,62 \rightarrow 3,17 \text{ g.ha}^{-1}.\text{jaar}^{-1}$. Bij een stabiele cadmiumtoevoer ($21,5 \text{ g.ha}^{-1}.\text{jaar}^{-1}$) neemt de accumulatie af van $15,92$ naar $10,87 \text{ g.ha}^{-1}.\text{jaar}^{-1}$. In een periode van 100 jaar stijgt het cadmiumgehalte in de bodem ($0,22 \rightarrow 0,55 \text{ mg.kg}^{-1}$ droge stof) en de cadmiumconcentratie in het grondwater ($0,35 \rightarrow 0,72 \mu\text{g.l}^{-1}$).

Keller en Schulin (2003) hebben onderzoek uitgevoerd naar accumulatie van cadmium en zink in de bodem van akkerbouw- en gemengde bedrijven in het noorden van Zwitserland. Twee derde van het akkerbouwareaal wordt gebruikt voor de teelt van granen (tarwe, rogge, gerst, haver, triticale en korrelmais). Snijmais en peulvruchten worden op de resterende oppervlakte geteeld. Op de akkerbouwbedrijven wordt door middel van kunstmest (55%), zuiveringsslib (32%) en dierlijke mest (13%) voorzien in de fosfaatbehoefte. Bij de akkerbouwgronden op de gemengde bedrijven voorziet dierlijke mest in het merendeel (63%) van de fosfaatbehoefte. De bijdragen van kunstmest (21%) en zuiveringsslib (16%) in de fosfaatbehoefte zijn aanzienlijk lager dan bij de akkerbouwbedrijven. De initiële accumulatie van cadmium in de akkerbouwgronden op de akkerbouw- en gemengde bedrijven bedraagt $1,9 \pm 1,1 \text{ g.ha}^{-1}.\text{jaar}^{-1}$ respectievelijk $1,3 \pm 1,0 \text{ g.ha}^{-1}.\text{jaar}^{-1}$ (mediaan \pm standaarddeviatie). De initiële accumulatie van zink bedraagt $206 \pm 170 \text{ g.ha}^{-1}.\text{jaar}^{-1}$ (akkerbouwbedrijven) en $412 \pm 188 \text{ g.ha}^{-1}.\text{jaar}^{-1}$ (gemengde bedrijven). Voor de akkerbouwbedrijven is voor cadmium een dynamische metaalbalans opgesteld. Een doorrekening tot de steady state situatie laat het verloop van de verschillende balansposten zien. De accumulatie van cadmium neemt in een periode van 2.500 jaar af ($2,1 \rightarrow 0 \text{ g.ha}^{-1}.\text{jaar}^{-1}$). Het toenemende cadmiumgehalte in de bodem ($0,4 \rightarrow 1,1 \text{ mg.kg}^{-1}$ droge stof) leidt tot een hogere cadmiumafvoer via de oogst van gewassen ($0,6 \rightarrow 1,5 \text{ g.ha}^{-1}.\text{jaar}^{-1}$) en uitspoeling naar het grondwater ($0,4 \rightarrow 1,4 \text{ g.ha}^{-1}.\text{jaar}^{-1}$).

Voor de situatie in België is door Guns en Pussemier (2000) een dynamisch balansmodel gebruikt voor het vaststellen van de risico's voor gezondheid en milieu als gevolg van het toepassen van cadmiumhoudende meststoffen. De meststoffen bestaan uit fosfaathoudende kunstmest en dierlijke mest (varkens-, rundvee- en kippenmest). Door middel van een balansmodel zijn voor de belangrijkste Belgische landbouwregio's toekomstige gehalten van cadmium in de bodem berekend. Er zijn verschillende bodemtypen beschouwd. Na zestig jaar wordt in de bodem een cadmiumgehalte verwacht van $0,036 - 0,772 \text{ mg.kg}^{-1}$ droge stof. Voor de steady state zijn

gehalten gerapporteerd variërend van 0,023 – 1,379 mg.kg⁻¹ droge stof. Op basis van het gehanteerde model is ook een schatting gemaakt van het cadmiumgehalte in gewassen na een periode van 500 jaar; winter- en zomertarwe = 4,7 – 194,1 µg.kg⁻¹ vers gewicht en aardappelen = 1,3 – 45,5 µg.kg⁻¹ vers gewicht.

De Vries et al. (2002) hebben onderzoek gedaan naar de accumulatie van cadmium, koper, lood en zink in de bodem van akkerbouwbedrijven waar hoofdzakelijk granen worden verbouwd. De bedrijven zijn gelegen op de zandgronden in Noord-Oost Nederland (Groningen en Drenthe). De nutriënten worden aangevoerd in de vorm van dierlijke mest en kunstmest. Door middel van een metaalbalans is bepaald na hoeveel jaar in de bodem een steady state (geen accumulatie of release) wordt bereikt: cadmium = 493 jaar (109 – 712 jaar; 5- en 95-percentiel), lood = 1.527 jaar (0 – 2.649 jaar), koper = 1.747 jaar (209 – 4.037 jaar) en zink = 382 jaar (65 – 610 jaar).

Een uitgebreide studie naar de accumulatie van koper in Nederlandse landbouwgronden is uitgevoerd door Groenenberg et al. (2006). Er is uitgegaan van akkerbouwgronden welke worden ingezet voor de teelt van mais, tarwe en andere graansoorten, aardappelen, suikerbieten en overige groentesoorten. Voor de bemesting is uitgegaan van de in het jaar 2000 gebruikte hoeveelheden dierlijke mest en kunstmest. In het onderzoek is gebruik gemaakt van een dynamisch metaalbalansmodel om het verloop van de balansposten vanaf het jaar 2000 tot de steady state situatie te kunnen vaststellen. Op basis van bemestingsdata van het jaar 2000 is voor een periode na 100 jaar en de steady state het kopergehalte in de bodem berekend: zand = 19 en 41 mg.kg⁻¹ droge stof; kalkrijk zand = 15 en 47 mg.kg⁻¹ droge stof; klei (fluviatiele klei) = 24 en 89 mg.kg⁻¹ droge stof; kalkrijke klei (mariene klei) = 23 en 138 mg.kg⁻¹ droge stof. Steady state voor het kopergehalte in zand, kalkrijk zand, klei en kalkrijke klei wordt achtereenvolgens bereikt na gemiddeld 2.032 jaar (1.351 – 2.607 jaar; 5- en 95-percentiel), 2.910 jaar (2.450 – 4.032 jaar), 3.524 jaar (1.706 – 4.952 jaar) en 4.477 jaar (2.688 – 4.954 jaar).

Een soortgelijke studie als direct bovenstaand, maar dan voor zink, is uitgevoerd door De Vries et al. (2004). Voor zink in de bodem zijn de volgende steady state gehalten berekend: 56 mg.kg⁻¹ droge stof (zand); 162 mg.kg⁻¹ droge stof (kalkrijk zand); 354 mg.kg⁻¹ droge stof (klei) en 551 mg.kg⁻¹ droge stof (kalkrijke klei). De steady state voor het zinkgehalte in zand, kalkrijk zand, klei en kalkrijke klei wordt achtereenvolgens bereikt na gemiddeld 457 jaar (163 – 796 jaar; 5- en 95-percentiel), 1.859 jaar (865 – 2.677 jaar), 2.319 jaar (634 – 4.100 jaar) en 3.713 jaar (2.009 – 4.608 jaar).

Moolenaar (1998) heeft voor een aantal percelen in Nagele (Noordoostpolder, Nederland) een dynamische metaalbalans opgesteld voor cadmium en koper. Er is sprake van een vierjarige gewasrotatie van consumptie- en pootaardappelen, suikerbieten, cichorei en uien, wintertarwe en zomergerst. De teelt vindt plaats op een kleibodem (mariene klei) welke wordt bemest met kunstmest (stikstof- en fosfaathoudend) en dierlijke mest (kippenmest). De steady state voor cadmium in de bodem wordt bereikt na ongeveer 5.000 jaar. In de beschouwde periode van 5.000 jaar treden door de toename van het cadmiumgehalte in de bodem (0,5 → 1,7 mg.kg⁻¹ droge stof) veranderingen op in de grootte van de balansposten uitloging (0 → 0,9 g.ha⁻¹.jaar⁻¹) en afvoer via geoogste gewassen (0,8 → 4,7 g.ha⁻¹.jaar⁻¹). Voor koper wordt de steady state bereikt op enig moment verder weg dan 5.000 jaar. In de periode van 0 – 5.000 jaar is het kopergehalte in de bodem gedaald (23 → 14 mg.kg⁻¹ droge stof). Door het lagere kopergehalte in de bodem vindt eveneens een afname plaats van de balansposten uitloging (8 → 5 g.ha⁻¹.jaar⁻¹) en afvoer via geoogste gewassen (50 → 30 g.ha⁻¹.jaar⁻¹).

Op basis van de bovenstaand beschreven onderzoeken komt het volgende beeld naar voren:

- Er zijn vooral metaalbalansen opgesteld voor cadmium, koper en zink. Dit kan worden verklaard door het feit dat deze metalen vooral samenhangen met de inzet van fosfaatkunstmest (cadmium) en dierlijke mest (koper en zink) (Chen et al., 2007; De Vries et al., 2002). Voor de overige metalen (chromium, kwik, lood, nikkel en arseen) zijn (nagenoeg) geen metaalbalansen opgesteld.
- Voor de bemesting wordt (op één uitzondering) na gebruik gemaakt van kunstmest en dierlijke mest. Er is uitgegaan van de 'reguliere' meststoffen en bodemverbeteraars, terwijl op dit moment gezien de wijzigingen in wet- en regelgeving ook andere stromen relevant zijn (zoals compost, digestaat, zuiveringsslib, dunne/dikke fractie van dierlijke mest en mineralenconcentraten).
- De nadruk ligt op de accumulatie van de metalen in de bodem en het daaraan gekoppelde metaalgehalte van de bodem. De ontwikkeling van de metaalgehalten en -concentraties in het gewas en grondwater komen (nagenoeg) niet aan de orde.
- De metaalbalansen zijn in de beschouwde onderzoeken vooral op regionale of landelijke schaal opgesteld. Een dergelijke opzet leidt tot onderzoeksresultaten, waarbij de directe relatie tussen de inzet van specifieke meststoffen en bodemverbeteraars op de kwaliteit de bodem, het gewas en het grondwater van een afzonderlijk perceel niet meer is te herleiden.

Het invullen van de bovengenoemde tekortkomingen is essentieel voor het kunnen beantwoorden van de onderzoeksvraag. Deze aspecten zijn dan ook meegenomen in de methode van onderzoek.

2.2 Meststoffen en bodemverbeteraars

2.2.1 Huidige wet- en regelgeving

Het gebruik van meststoffen en bodemverbeteraars is sterk gereguleerd. Dit in verband met de negatieve effecten welke samenhangen met het gebruik ervan, zoals accumulatie van zware metalen in de bodem en uitspoeling van nutriënten en zware metalen naar het grond- en oppervlaktewater (Westhoek et al., 1996). In tabel 2.1 is een overzicht gegeven van de meststoffen en bodemverbeteraars zoals deze in Nederland zijn gereguleerd.

Tabel 2.1: *Verschillende typen meststoffen inclusief de verankering in de Nederlandse wet- en regelgeving* (Ehlert, Posthuma et al., 2013)

Type meststof	Toelichting	Voorbeelden
<u>Anorganische meststoffen:</u>		
EU-meststoffen (Ub ¹)	Dit betreft anorganische meststoffen conform Verordening EG 2003/2003	Kalkammonsalpeter
Kalkmeststoffen (Ub, Ur ¹)	(An)organische stoffen voor het verhogen van de pH-waarde van de bodem	Kalk
Overige anorganische meststoffen (Ub, Ur)	Anorganische meststoffen niet zijnde een EG-meststof	Mengsels van anorganische meststoffen en kalk, afvalstoffen welke zijn aangewezen als meststof (vb. kalk van drinkwaterproductie, eierschalen)
<u>Organische meststoffen:</u>		
Dierlijke meststoffen (Mw ¹)	-	Rundveemest, varkensmest, vleeskuikenmest, mineralenconcentraten, champost, digestaat (≥50% dierlijke mest in het uitgangproduct), dunne/dikke mestfractie van mestverwerking
Zuiveringsslib (Ub, Ur, Bgm ¹)	-	Slib afkomstig van communale rioolwaterzuiveringen en industriële afvalwaterzuiveringen
Compost (Ub, Ur)	-	GFT-compost, groencompost
Overige organische meststoffen (Ub, Ur)	Organische meststoffen uitgezonderd dierlijke mest, zuiveringsslib en compost	Veen, schors, digestaat (uitgangproducten 100% plantaardig), afvalstoffen welke zijn aangewezen als meststof (vb. schuimaarde)

¹ Ub = Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet, Ur = Uitvoeringsregeling Meststoffenwet, Mw = Meststoffenwet, Bgm = Besluit Gebruik Meststoffen

2.2.2 Ontwikkelingen in wet- en regelgeving

De in de inleiding beschreven ontwikkelingen van de wet- en regelgeving hebben betrekking op een groot aantal meststoffen en bodemverbeteraars. In het kader van de haalbaarheid en uitvoerbaarheid van dit onderzoek is een afbakening noodzakelijk geacht. Er is een keuze gemaakt voor een beperkt aantal typen meststoffen en bodemverbeteraars, welke in dit onderzoek nader zijn beschouwd.

Het gaat hierbij om zowel reststromen, mestverwerkingsproducten als reguliere meststoffen en bodemverbeteraars. Dit vanwege het feit dat het gezien de gangbare landbouwpraktijk voor de hand ligt dat deze in de toekomst, vaak aanvullend aan elkaar, worden ingezet. Kunstmest, compost, digestaat en zuiveringsslib zijn reststromen welke op basis van veranderingen in wet- en

regelgeving hun intrede kunnen doen als meststof of bodemverbeteraar. Het betreft bekende stromen, welke gezien de landbouwkundige waarde kunnen worden ingezet als meststof of bodemverbeteraar. Echter, gezien het feit dat de stromen op dit moment niet voldoen aan de grenswaarden voor zware metalen welke volgen uit de in Nederland geldende wet- en regelgeving, is inzet (nog) niet mogelijk. De reguliere meststoffen en bodemverbeteraars én mestverwerkingsproducten zijn geselecteerd op basis van het belang wat zij vertegenwoordigen in de Nederlandse akkerbouw en bloembollenteelt (zie ook tabel B.1.2 in Bijlage 1). Het gaat daarbij concreet om dierlijke mest, kunstmest, compost, dunne en dikke fractie van varkensmest en mineralenconcentraten.

In tabel 2.2 zijn de geselecteerde meststoffen en bodemverbeteraars vermeld inclusief de bijbehorende huidige en (mogelijk) toekomstige wet- of regelgeving waarin de grenswaarden voor de zware metalen van de genoemde producten zijn of (mogelijk) worden gereguleerd.

Tabel 2.2: *De huidige en (mogelijk) toekomstige wettelijke kaders voor grenswaarden van zware metalen van de meststoffen en bodemverbeteraars in Nederland*

Meststoffen/ bodemverbeteraars	Wet- en regelgeving zware metalen		Parameters met grenswaarden	
	Huidig	Toekomst	Huidig	Toekomst
Dierlijke mest	-	-	-	-
Kunstmest	-	EG 2003/2003 (revisie)	-	Cd, CrVI, Hg, Ni, Pb, As
Compost	Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet	End-of-waste status	Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, As	Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn
Digestaat	- ¹ Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet ²	End-of-waste status	- ¹ Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, As ²	Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn
Zuiveringsslib	Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet	86/278/EEG (revisie)	Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, As	Nog geen voorstel
Dunne en dikke fractie mestverwerking	-	-	-	-
Mineralenconcentraten	-	EG 2003/2003 (revisie)	-	Cd, CrVI, Hg, Ni, Pb, As

¹ In het geval digestaat wordt aangemerkt als dierlijke mest; ² Digestaat dat is ontstaan bij de vergisting van uitsluitend plantaardige materialen.

2.2.3 Aanbod, samenstelling en grenswaarden voor zware metalen

Voor de geselecteerde meststoffen en bodemverbeteraars is voor zover mogelijk kort ingegaan op de beschikbaarheid en samenstelling (nutriënten, zware metalen, droge stof en organische stof) in Nederland. Tevens is, voor de huidige situatie en (indien mogelijk) voor de toekomstige situatie, aangegeven waar en op welke wijze de maximale waarden voor zware metalen in de meststof of bodemverbeteraar zijn/worden gereguleerd. Daar waar mogelijk is de samenstelling van de meststoffen en bodemverbeteraars getoetst aan de voorgestelde concept-grenswaarden voor zware metalen.

Dierlijke mest

In Nederland is dierlijke mest als gevolg van de intensieve veehouderij ruimschoots voor handen. De omvang van de mestproductie is opgenomen in tabel 2.3.

Tabel 2.3: *Mestproductie (miljard kg) door de Nederlandse veestapel in 2012*
(Centraal Bureau voor de Statistiek, 2013a).

Herkomst	Dunne mest (x10⁹ kg)	Vaste mest (x10⁹ kg)
Rundvee, excl. vleeskalveren	51,6	0,7
Vleeskalveren	3,1	-
Varkens	11,6	-
Pluimvee	0,0	1,4
Schapen en geiten ¹	1,3	0,4
Pelsdieren en konijnen	0,2	0,0
Paarden en pony's ¹	0,4	0,5
Totaal	68,2	3,1

¹ De weidemest van schapen, paarden en pony's is gerekend als dunne mest

Uit het bovenstaande overzicht valt op te maken dat het overgrote deel van de jaarlijkse mestproductie afkomstig is van rundvee (55,4.10⁹ kg, ~78%) en varkens (11,6.10⁹ kg, ~16%).

In Bijlage 2 is de samenstelling van dunne rundvee- en varkensmest, vaste vleeskuikenmest en vaste rundveestalmest opgenomen.

In de Europese of Nederlandse wet- en regelgeving zijn voor dierlijke meststoffen momenteel geen grenswaarden voor zware metalen opgenomen (Technische commissie bodem, 2012). In het kader van de revisie van de Europese Verordening inzake meststoffen (EG 2003/2003) worden ook geen grenswaarden voorzien voor dierlijke meststoffen, aangezien dierlijke meststoffen en producten van dierlijke oorsprong geen onderdeel gaan uitmaken van gereviseerde verordening (Technische commissie bodem, 2012). De gehalten aan zware metalen in dierlijke mest worden echter wel indirect beïnvloed, doordat de Regeling Diervoeders normen stelt aan de hoeveelheid zware metalen in diervoeders (Technische commissie bodem, 2012). Door het verlagen van de maximaal toelaatbare koper- en zinkgehalten in diervoeders (Römkens & Rietra, 2008), zal bij het toepassen van dierlijke mest de emissie van deze metalen naar het milieu afnemen.

Kunstmest

De samenstelling van kunstmestproducten kan sterk van elkaar verschillen. In Bijlage 3 is de samenstelling van een aantal kunstmestproducten opgenomen. Het betreft de samenstelling van kalkammonsalpeter, de meest gebruikte stikstofkunstmest in Nederland (Ehlert & Hoeksma, 2011). Voor de fosfaatkunstmeststoffen is het gemiddelde van een zevental in Nederland gebruikte producten vermeld.

Kunstmeststoffen welke vallen onder de Europese Verordening inzake meststoffen (EG 2003/2003) worden aangeduid met het predicaat 'EG-meststof'. De Europese verordening is door middel van het Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet geïmplementeerd in de Nederlandse meststoffenwetgeving. In de verordening zijn geen grenswaarden opgenomen voor de maximaal toelaatbare gehalten van zware metalen in de kunstmestproducten (Van Dijk Management Consultants et al., 2012).

Een groot deel van de lidstaten staat, ingegeven door de mogelijk negatieve uitwerkingen op de milieukwaliteit en volksgezondheid, kritisch ten opzichte van het ontbreken van grenswaarden voor zware metalen in de huidige verordening (Centre for Strategy & Evaluation Services, 2010). Naar aanleiding van dit signaal heeft de Fertilisers Working Group opdracht gekregen om invulling te geven aan behoefte voor het opstellen van grenswaarden voor zware metalen. Binnen de Fertilisers Working Group (een onderdeel van de Europese Commissie) bestaat consensus betreffende grenswaarden voor zware metalen in kunstmeststoffen. De introductie van de grenswaarden kan

onderdeel uitmaken van de revisie van de verordening (Centre for Strategy & Evaluation Services, 2010). Ondanks het feit dat het belang van de introductie van grenswaarden voor zware metalen door het merendeel van de lidstaten wordt onderschreven is er tussen de lidstaten echter nog geen consensus bereikt over de hoogte van desbetreffende grenswaarden (Centre for Strategy & Evaluation Services, 2010). Hier ligt dan ook nog een rol weggelegd voor de Europese Commissie, zodat de grenswaarden voor zware metalen uiteindelijk alsnog worden geborgd in de gereviseerde verordening (Centre for Strategy & Evaluation Services, 2010).

De meeste recente voorstellen vanuit de Fertilisers Working Group voor de hoogte van de grenswaarden zijn weergegeven in tabel 2.4.

Tabel 2.4: *Voorstel van maximale waarden (mg per kg droge stof) voor zware metalen in anorganische meststoffen* (European Commission, 2014)

Parameter	Cd	CrVI	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As
mg.kg ⁻¹ ds	3 ¹ / 60 ²	2	-	2	120	150	-	60

¹ Voor anorganische meststoffen met een gehalte P₂O₅ < 5%; ² Voor anorganische meststoffen met een gehalte P₂O₅ > 5%

In de recente voorstellen zijn vooralsnog geen grenswaarden voorzien voor koper en zink. Bij grenswaarden voor zware metalen in meststoffen en bodemverbeteraars is tot op heden uitgegaan van chroom-totaal. Voor anorganische meststoffen is chroom-totaal in de recente voorstellen echter vervangen door CrVI.

De samenstelling voor kalkammonsalpeter (zie Bijlage 3) voldoet aan de voorgestelde grenswaarden in tabel 2.4. Voorgaande conclusie geldt ook voor fosfaatkunstmest, wanneer CrVI buiten beschouwing wordt gelaten. Door het ontbreken van analysegegevens voor CrVI is namelijk niet bekend of de bijbehorende grenswaarde al dan niet wordt overschreden. Opvallend is wel dat het arseengehalte van kalkammonsalpeter maar net onder de grenswaarde ligt.

Compost

Compost wordt ingezet als meststof en bodemverbeteraar (Saveyn & Eder, 2014). Het wordt geproduceerd door het composteren van organisch uitgangsmateriaal. Op deze manier kunnen talloze compostsoorten met uiteenlopende oorsprong worden geproduceerd. In het kader van dit onderzoek wordt alleen gekeken naar GFT-compost en champost; deze compostsoorten worden namelijk het meest gebruikt in de landbouw (Westhoek et al., 1996).

De basis van GFT-compost is het gescheiden ingezamelde groente-, fruit- en tuinafval. In 2011 bedroeg de marktomvang van het aanbod van GFT-compost 668.000 ton (Vereniging Afvalbedrijven, 2012). Bij de champignonteelt wordt gebruik gemaakt van champignoncompost. Dit wordt gemaakt door stro-rijke paardenmest onder toevoeging van schuimaarde te fermenteren met slachtkuikenmest. Champost ontstaat als afgewerkte champignoncompost wordt opgemengd met dekaarde (een mengsel van tuinturf en schuimaarde) (Westhoek et al., 1996). Door de Nederlandse champignonsector wordt jaarlijks 800.000 ton champost geproduceerd, verdeeld over 500.000 ton zuivere compost en 300.000 ton dekaarde (Spore, 2013).

Voor GFT-compost en champost is de gemiddelde samenstelling (inclusief spreiding) opgenomen in Bijlage 4.

Het gebruik van champost en compost in de Nederlandse landbouw is gereguleerd door de Meststoffenwet. Champost wordt aangemerkt als een dierlijke meststof, waarvoor geen

grenswaarden zijn vastgesteld voor zware metalen. In Bijlage II van het Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet zijn grenswaarden voor zware metalen in compost opgenomen (zie tabel 2.5).

Tabel 2.5: *Maximale waarden voor zware metalen in compost (mg per kg droge stof)*
(Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet)

Parameter	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As
mg.kg ⁻¹ ds	1	50	90	0,3	20	100	290	15

De Richtlijn afvalstoffen (2008/98/EG) schrijft de lidstaten het stimuleren van composteren en vergisten van bio-afval voor. Dit in het kader van de 'end-of-waste' benadering voor bio-afval. Om mens en milieu bij het gebruik van compost te beschermen, zal de Europese Commissie kwaliteitscriteria opstellen. De grenswaarden zoals vermeld in tabel 2.6 dienen te worden beschouwd als concept-grenswaarden.

Tabel 2.6: *Mogelijke toekomstige maximale waarden voor zware metalen in compost (mg per kg droge stof)* (Saveyn & Eder, 2014)

Parameter	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As
mg.kg ⁻¹ ds	1,5	100	200	1	50	120	600	-

De concept-grenswaarden (tabel 2.6) zijn voor alle metalen hoger dan de grenswaarden zoals deze zijn opgenomen in het Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet. Voor arseen is de normering zelfs helemaal vervallen. De gemiddelde samenstelling van GFT-compost (Bijlage 4) voldoet (ruimschoots) aan de strengere grenswaarden zoals opgenomen in het Uitvoeringsbesluit Meststoffen en dus ook aan de nieuwe concept-grenswaarden.

Digestaat

De samenstelling van digestaat varieert sterk als gevolg van de grote verscheidenheid aan mogelijke uitgang producten (Van Geel & Van Dijk, 2013). In de praktijk bestaan de uitgang producten in de regel uit een mengsel van dierlijke mest en covergistingsmateriaal. In verband met de geldende wetgeving wordt ervoor gezorgd dat het uitgangsmateriaal voor minimaal de helft (gewichtsbasis) bestaat uit dierlijke mest. De afleiding voor een mogelijke samenstelling van digestaat is opgenomen in Bijlage 5.

In het geval dat de uitgang producten voor minimaal 50 gewichtsprocenten uit dierlijke uitwerpselen bestaan (het nevenbestanddeel/covergistingsmateriaal betreft uitsluitend één of meer van de producten van bijlage Aa onderdeel IV van de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet), wordt het digestaat aangemerkt als dierlijke mest (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, z.j. b; Technische commissie bodem, 2012). Voor dierlijke mest zijn in de Europese of Nederlandse wet- en regelgeving geen grenswaarden voor zware metalen opgenomen (Technische commissie bodem, 2012). Wanneer niet wordt voldaan aan genoemde criteria, wordt het digestaat beschouwd als een afvalstof (Van Geel & Van Dijk, 2013). Het digestaat valt dan niet langer meer binnen de werkingssfeer van de Meststoffenwet. Diverse bepalingen uit het afvalstoffenrecht worden van toepassing, waardoor de afzet van het digestaat problematisch kan worden (Agentschap NL, 2010).

Een uitzondering wordt gemaakt voor het geval dat alle uitgangproducten van plantaardige oorsprong zijn. Vergisting van uitsluitend plantaardige materialen (zoals vermeld onder onderdeel IV, categorie 1, A tot en met G1 van Bijlage Aa van Uitvoeringsregeling Meststoffenwet) leidt tot een digestaat wat ingezet mag worden als overige organische meststof (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, z.j. b). Op de digestaatstromen van alleen plantaardige oorsprong zijn voor zware metalen de grenswaarden zoals opgenomen in Bijlage II van het Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet van toepassing (zie tabel 2.7).

Tabel 2.7: *Maximale waarden voor zware metalen in meststoffen in mg per kg van het desbetreffende waardegevende bestanddeel (Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet)*

Metaal	Waardegevende bestanddeel				
	Fosfaat (als P₂O₅)	Stikstof (N)	Kali (K₂O)	Neutraliseren- de waarde	Organische stof
Cd	31,3	25	16,7	6,3	0,8
Cr	1.875	1.500	1.000	375	50
Cu	1.875	1.500	1.000	375	50
Hg	18,8	15	10	3,8	0,5
Ni	750	600	400	150	20
Pb	2.500	2.000	1.333	500	67
Zn	7.500	6.000	4.000	1500	200
As	375	300	200	75	10

Voor de toepassing van deze tabel zijn de maximale waarden van toepassing die behoren bij dat waardegevende bestanddeel waarvan bij het toedienen van een toenemende hoeveelheid van de meststof, de hoeveelheden van 80 kg fosfaat, 100 kg stikstof, 150 kg kali, 400 kg neutraliserende waarde of 3.000 kg organische stof het éérst wordt bereikt.

In een recent voorstel zijn geen beperkingen gesteld betreffende het aandeel dierlijke mest in de uitgangproducten van het digestaat (Saveyn & Eder, 2014). De Europese Commissie zal kwaliteitscriteria (zogenaamde 'end-of-waste' criteria) opstellen voor een verantwoord gebruik van digestaat in de landbouw (Europese Unie, 2008). In tabel 2.8 zijn de concept-grenswaarden opgenomen.

Tabel 2.8: *Mogelijke toekomstige maximale waarden voor zware metalen in digestaat (mg per kg droge stof) (Saveyn & Eder, 2014)*

Parameter	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As
mg.kg ⁻¹ ds	1,5	100	200	1	50	120	600	-

De samenstelling van het digestaat op basis van de uitgangproducten dunne varkensmest en covergisteringsmaterialen (zie Bijlage 5, tabel B.5.3a) voldoet ruimschoots aan de mogelijk toekomstige grenswaarden voor zware metalen (zie tabel 2.8).

Zuiveringsslib

Stedelijk en industrieel afvalwater wordt over het algemeen gereinigd in actiefslibsystemen. De grootste reststroom, welke bij deze zuiveringsprocessen vrijkomt, betreft zuiveringsslib. Voor het jaar 2011 betrof dit een hoeveelheid van 1,3.10⁹ kg ofwel 331.10⁶ kg droge stof (Centraal Bureau voor de Statistiek, 2013b). Voor de samenstelling van het zuiveringsslib wordt verwezen naar Bijlage 6.

Het toepassen van zuiveringsslib in de landbouw is primair gereguleerd via de Zuiveringsslibrichtlijn (86/278/EEG). In Bijlage I B van de Zuiveringsslibrichtlijn zijn grenswaarden

opgenomen voor de gehalten aan zware metalen. De inhoud van de Zuiveringsslibrichtlijn is via de Meststoffenwet opgenomen in de Nederlandse wetgeving. Op basis van de ruimte welke Artikel 1 van de Zuiveringsslibrichtlijn de lidstaten biedt, heeft Nederland strengere voorschriften opgesteld. De scherpere grenswaarden betreffende de maximale waarden voor zware metalen in zuiveringsslib zijn opgenomen in Bijlage II van het Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet (zie tabel 2.9).

Tabel 2.9: *Maximale waarden voor zware metalen in zuiveringsslib (mg per kg droge stof)*
(Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet)

Parameter	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As
mg.kg ⁻¹ ds	1,25	75	75	0,75	30	100	300	15

Wanneer de grenswaarden (tabel 2.9) worden vergeleken met de gemeten gehalten aan zware metalen (Bijlage 6) wordt geconcludeerd dat cadmium, koper, nikkel, lood en zink niet aan de eisen voldoen. Op basis van de huidige grenswaarden, zoals opgenomen in de Meststoffenwet, is toepassing van zuiveringsslib in de Nederlandse landbouw uitgesloten. Mogelijke uitzondering op deze regel zijn slibstromen van welke vrijkomen bij de zuivering van afvalwater van specifieke 'schone' industriële processen.

In het eventuele geval van een revisie van de Zuiveringsslibrichtlijn (86/278/EEG) wordt het aanpassen van de grenswaarden voor zware metalen in zuiveringsslib als een mogelijkheid genoemd (Milieu Ltd et al., 2008). Tot op heden is er echter nog geen sprake van een werkbaar voorstel met betrekking tot het aanpassen van de grenswaarden.

Dunne en dikke fractie van varkensmest

Een vorm van mestverwerking welke wordt toegepast is mestscheiding. Dit resulteert in een dikke en een dunne fractie. De samenstelling van de dunne en dikke fractie na mestscheiding van dunne varkensmest is opgenomen in Bijlage 7.

Bij het scheiden van mest in een dunne en dikke fractie komt het overgrote deel van de in de toegevoerde mest aanwezige metalen, fosfor, droge stof en organische stof in de dikke fractie terecht (Hoeksma, De Buisson, Ehlert, & Horrevorts, 2011). In de dunne fractie van varkensmest zijn de metalen koper en zink, ten opzichte van de andere metalen, in verhoogde mate aanwezig (zie Bijlage 7). Er is sprake van variatie in de gehalten. Dit is het gevolg van de gehanteerde wijze van mestscheiding en de samenstelling van het uitgangproduct (Møller, Jensen, Tobiassen, & Hansen, 2007).

De dunne en dikke fractie worden – net als ieder afgeleid product uit dierlijke mest - beschouwd als dierlijke mest (Schoumans et al., 2012). Momenteel zijn er voor dierlijke meststoffen geen grenswaarden voor zware metalen vastgelegd in de Europese of Nederlandse wetgeving en de verwachting is ook dat dit in de nabije toekomst niet gaat veranderen (Technische commissie bodem, 2012).

Mineralenconcentraat

Mestverwerking kan gericht zijn op de productie van mineralenconcentraat. De eerste stap in de mestverwerking bestaat uit een (mechanische) scheiding van de dunne en de dikke fractie (Hoeksma et al., 2011, p. 9). Het mineralenconcentraat ontstaat bij het toepassen van

omgekeerde osmose op de dunne fractie (Ehlert & Hoeksma, 2011). In het mineralenconcentraat is het fosforgehalte aanzienlijk (ongeveer een factor 20) lager dan het stikstofgehalte. Dit is de reden dat mineralenconcentraten vooral worden aangewend als stikstofmeststof.

In Bijlage 8 is de samenstelling van mineraalconcentraten op basis van varkensdrijfmest opgenomen. Voor mineralenconcentraten zijn alleen koper en zink relevant. De overige metalen komen in dusdanig lage gehalten voor dat deze niet relevant zijn in het kader van een verantwoord landbouwkundig gebruik (Ehlert & Hoeksma, 2011).

Mineralenconcentraten vallen onder de definitie dierlijke mest. Grenswaarden voor zware metalen in dierlijke meststoffen zijn momenteel én in de nabije toekomst niet aan de orde (Technische commissie bodem, 2012). Het streven is om vanuit de Europese Unie toestemming te krijgen om mineralenconcentraten voortaan in te zetten als volwaardig kunstmestvervanger (Ehlert & Hoeksma, 2011). In het geval dat de Europese Unie de inzet van mineralenconcentraat als kunstmestvervanger goedkeurt, ligt het voor de hand dat in de toekomst de grenswaarden uit gereviseerde Verordening inzake meststoffen (EG 2003/2003) van toepassing zijn op het gebruik ervan (zie tabel 2.4).

2.3 Landbouwpraktijk betreffende de inzet van meststoffen en bodemverbeteraars

2.3.1 Inleiding

Door het toepassen van meststoffen en bodemverbeteraars in de akkerbouw en bloembollenteelt wordt bouwland belast met zware metalen. Enerzijds wordt de belasting van de bodem met zware metalen gelimiteerd door de maximaal toelaatbare gehalten aan zware metalen in meststoffen en bodemverbeteraars (zie paragraaf 2.2.3). Daarnaast vindt ook nog een indirecte limitatie plaats. Dit gebeurt via de gebruiksnormen van (dierlijke) meststoffen en zuiveringsslib welke zijn opgenomen in de Nederlandse meststoffenwetgeving. Onderstaand zijn de gebruiksnormen op hoofdlijnen toegelicht. Vanwege het uitgebreide karakter van de meststoffenwetgeving is ervoor gekozen om niet in detail te treden. Dat is ook niet noodzakelijk in het kader van dit onderzoek.

2.3.2 Gebruiksnormen voor dierlijke mest, stikstof, fosfaat en droge stof

In de Meststoffenwet (artikel 8) wordt onderscheid gemaakt tussen de gebruiksnorm voor dierlijke meststoffen, de stikstofgebruiksnorm voor meststoffen en de fosfaatgebruiksnorm voor meststoffen.

De gebruiksnorm voor dierlijke meststoffen geeft aan hoeveel stikstof vanuit dierlijke mest ieder jaar per hectare landbouwgrond mag worden gebruikt. De gebruiksnorm, uitgedrukt als een hoeveelheid stikstof per hectare van de tot het bedrijf behorende oppervlakte landbouwgrond, bedraagt 170 kilogram (Meststoffenwet, artikel 9, lid 1). Onder voorwaarden kan de gebruiksnorm worden verruimd. Deze verruiming wordt aangeduid als derogatie. Een belangrijke voorwaarde is dat minimaal 80% van de totale oppervlakte landbouwgrond van een bedrijf uit grasland bestaat (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, z.j. c). Derogatie past dan ook niet binnen bedrijven die zich vooral richten op akkerbouw en bloembollenteelt. Om die reden is de mogelijkheid tot derogatie niet verder meegenomen.

De stikstofgebruiksnorm voor meststoffen geeft de hoeveelheid stikstof aan die per hectare van de tot het bedrijf behorende oppervlakte landbouwgrond mag worden gebruikt (Meststoffenwet). Het gaat hierbij om de stikstofgift van alle toegepaste meststoffen (inclusief dierlijke meststoffen). De stikstofgebruiksnorm voor meststoffen is gespecificeerd naar bodemtype, gewas en soms ook groeiperiode (Uitvoeringsregeling Meststoffenwet). De toegestane hoeveelheden stikstof per

hectare van de tot het bedrijf behorende oppervlakte landbouwgrond zijn opgenomen in Bijlage 9. Bij dierlijke mest en overige organische meststoffen wordt in relatie tot de stikstofgebruiksnorm (dus niet met betrekking tot de gebruiksnorm voor dierlijke meststoffen) alleen het werkzame deel van de stikstof in rekening gebracht (Uitvoeringsregeling Meststoffenwet, artikel 29). Hiertoe wordt gebruik gemaakt van werkingscoëfficiënten (zie Bijlage 10). In het geval van mengsels van organische meststoffen wordt de werkingscoëfficiënt gehanteerd van de meststof met de hoogste werkingscoëfficiënt in het mengsel.

De fosfaatgebruiksnorm voor meststoffen geeft de hoeveelheid fosfaat per hectare van de tot het bedrijf behorende oppervlakte landbouwgrond. De fosfaattoestand – een maat welke verwijst naar de hoeveelheid fosfaat in de bodem – is maatgevend voor de fosfaatgebruiksnorm. In tabel 2.10 zijn de verschillende fosfaatgebruiksnormen in relatie tot de fosfaattoestand opgenomen.

Tabel 2.10: Fosfaatgebruiksnormen uitgedrukt als het aantal kg fosfaat per hectare bouwland van het tot het bedrijf behorende oppervlakte landbouwgrond (Meststoffenwet; Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet; Uitvoeringsregeling Meststoffenwet)

Fosfaattoestand	Fosfaatgebruiksnorm
Laag	80
Neutraal	65
Hoog	55

De fosfaatvracht van alle toegepaste meststoffen wordt daarbij in rekening gebracht. Bij het gebruik van compost geldt een fosfaatvrije voet. Vijftig procent van de hoeveelheid fosfaat in compost dient niet aanmerking worden genomen, waarbij een maximum is gesteld van 3,5 kilogram fosfaat per 1.000 kilogram droge stof (Uitvoeringsregeling Meststoffenwet, artikel 34).

De bovenbeschreven gebruiksnormen voor dierlijke meststoffen, stikstof en fosfaat zijn normen welke op bedrijfsniveau gelden. Het aantal hectare grond in combinatie met de geteelde gewassen is bepalend voor de totale gebruiksruijmt. De uiteindelijke verdeling van de stikstof- en fosfaatvrachten over de afzonderlijke percelen is daarmee vrijgesteld (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, z.j. a).

Het Besluit gebruik meststoffen stelt regels aan het gebruik van zuiveringsslib op landbouwgronden. De inzet van zuiveringsslib wordt gemaximaliseerd door grenzen te stellen aan de maximale hoeveelheden droge stof welke op het land mogen worden gebracht. In het geval van vloeibaar zuiveringsslib is voor bouwland twee ton droge stof per hectare per jaar toegestaan. Wanneer sprake is van steekvast zuiveringsslib wordt de toegestane droge stof vracht verruimd tot vier ton droge stof per hectare per jaar (Besluit gebruik meststoffen, artikel 1b, lid 3a en 3b).

2.3.3 De praktijk van inzet van meststoffen en bodemverbeteraars

Akkerbouwgewassen en bloembollen onttrekken nutriënten (waaronder stikstof en fosfaat) voor het groeiproses uit de bodem. Deze nutriënten komen uiteindelijk in de biomassa van het gewas terecht. Bij de oogst van de gewassen verdwijnt door het afvoeren van de biomassa een deel van de nutriëntenvoorraad uit de bodem. Wanneer niet voor deze afvoer wordt gecompenseerd, zal de bodem verarmen. Dit leidt uiteindelijk tot een tekort aan nutriënten, waardoor de ontwikkeling en groei van de gewassen negatief wordt beïnvloed.

Een aanvullend aspect wat speelt bij de bloembollenteelt op de kalkrijke zee- en duinzandgronden is de relatief snelle afbraak van organische stof. Dit doordat kalk leidt tot relatief hoge pH-waarden,

waardoor het bodemleven, wat de organische stof afbreekt, wordt gestimuleerd (Bokhorst, Van Leeuwen, & Ter Berg, 2008). Een voldoende hoog organisch stof gehalte is essentieel voor de bloembollenteelt. Het zorgt namelijk voor het vasthouden van het bodemvocht en het uitspoelen van voedingsstoffen naar het grondwater wordt voorkomen. Tegelijkertijd leidt het tot de gewenste luchtige bodemstructuur (Bokhorst et al., 2008).

Om opbrengstderving te voorkomen wordt de nutriënten- en organische stof-voorraad van het bouwland op peil gehouden. Dit gebeurt door het toedienen van meststoffen en bodemverbeteraars. De mate waarin de meststoffen en bodemverbeteraars worden toegediend is enerzijds afhankelijk van de wet- en regelgeving. Hiertoe zijn in de Meststoffenwet gebruiksnormen voor dierlijke mest, stikstof en fosfaat opgenomen (Meststoffenwet, artikel 8). Anderzijds wordt het toedienen van nutriënten en organische stof door de inzet van meststoffen en bodemverbeteraars afgestemd op bemestingsadviezen zoals opgesteld door De Haan en Van Geel (2013) en Van Dam en Van Reuler (2013). De adviesnormen geven aan wat in bepaalde gevallen de toevoer van nutriënten en organische stof zou moeten zijn om uiteindelijk een optimale groei van de gewassen, en daarmee een economisch optimaal resultaat, te bewerkstelligen (De Haan & Van Geel, 2013). Het is niet ongebruikelijk dat op perceelsniveau de adviesnormen voor stikstof en fosfaat de wettelijke gebruiksnormen overstijgen. Aangezien de wettelijke gebruiksnormen op bedrijfsniveau gelden, zal een optimale verdeling van de gebruiksruijme van stikstof en fosfaat over de percelen plaatsvinden, waarbij mogelijk niet alle gewassen volgens de adviesnormen kunnen worden bemest (Van Dam & Van Reuler, 2013).

Nutriënten en organische stof kunnen in verschillende vormen worden toegediend. Veelvuldig gebruikte bronnen voor nutriënten in Nederland zijn dierlijke mest (waaronder dunne rundveemest, dunne varkensmest, vaste vleeskuikenmest, digestaat, dunne en dikke fractie van drijfmest, mineralenconcentraten) en kunstmest. Vaste rundveestalmest en GFT-compost worden vooral gebruikt voor de aanvoer van organische stof in de bloembollenteelt (Bokhorst et al., 2008). Onderstaand wordt beknopt ingegaan op de meest voorkomende praktijk voor bemesting in de akkerbouw en bloembollenteelt.

Akkerbouw

In de regel wordt in het geval van akkerbouw – rekening houdend met de gebruiksnorm voor dierlijke meststoffen - allereerst de fosfaatgebruiksnorm zover als mogelijk opgevuld met dierlijke meststoffen. Dit geldt zowel voor gemengde bedrijven, welke akkerbouw en veeteelt combineren, als voor bedrijven die zich enkel hebben toegelegd op akkerbouw. Deze benadering is ingegeven door het feit dat mestafzet de veehouder in de regel geld kost, terwijl acceptatie van grote hoeveelheden dierlijke mest de akkerbouwbedrijven juist geld oplevert (De Hoop et al., 2011). Door het opvullen van de gebruiksnorm van fosfaat met dierlijke mest wordt tegelijkertijd de inzet van relatief dure fosfaatkunstmest beperkt. Om een optimale nutriëntenhuishouding in de bodem te bereiken wordt vervolgens op basis van de gebruiks- en adviesnormen van stikstof en fosfaat bepaald of aanvullende bemesting mogelijk en/of wenselijk is. In het geval aanvullende toediening van stikstof en/of fosfaat wordt gewenst, en dit binnen de wettelijke kaders (gebruiksnormen) mogelijk is, zal hiervoor in de regel kunstmest worden aangewend. Het feit dat kunstmest duurder is dan dierlijke mest kan voor de akkerbouwer een argument zijn om voor bovenstaande volgorde te kiezen (De Hoop et al., 2011).

Mineralenconcentraat kan een alternatief zijn voor stikstofkunstmest (Ehlert & Hoeksma, 2011). Op dit moment wordt het mineralenconcentraat aangemerkt als dierlijke mest. Doordat de gebruiksnormen voor dierlijke mest van toepassing zijn, wordt het gebruik van mineralenconcentraat beperkt (Ehlert & Hoeksma, 2011). Om ten volle gebruik te kunnen maken

van mineralenconcentraten als kunstmestvervanger, dient deze niet langer als dierlijke mest te worden aangemerkt. In dat geval wordt namelijk de ruimere stikstofgebruiksnorm bepalend voor het aanwenden van mineralenconcentraten (Ehlert & Hoeksma, 2011). In economisch opzicht kan dit interessant zijn voor veehouders met eigen gronden, aangezien door de inzet van mineralenconcentraten minder mest afgevoerd moet worden. Tegelijkertijd hoeft er minder kunstmest te worden ingekocht. Een ander alternatief is de inzet van de dunne fractie van mestverwerking. Door de lage verhouding tussen fosfaat en stikstof wordt de gebruiksnorm voor dierlijke meststoffen maatgevend. Hierdoor kan er ten opzichte van onbewerkte dierlijke mest (waarbij de gebruiksnorm voor fosfaat maatgevend zal zijn) een veel groter volume dierlijke mest in de vorm van dunne fractie op eigen bouwland worden afgezet, waardoor wordt bespaard op kosten voor mestafzet. Een eventueel overschot wordt idealiter als dikke fractie afgezet, wat leidt tot een besparing op transportkosten (Agentschap NL, 2010).

Ondanks het feit dat compost gunstige eigenschappen bezit voor het verhogen van het organische stof gehalte van de bodem, wordt het nagenoeg niet toegepast in de akkerbouw. Op basis van inkoopprijs kan compost namelijk niet concurreren met dierlijke mest. Voor compost moet een afnemer namelijk wél betalen. Onderzoek heeft aangetoond dat ondanks de hogere inkoopprijs van compost het gebruik ervan over een langere periode gezien (>7 jaar) wel degelijk een bedrijfseconomisch verantwoorde investering kan zijn. Het hogere organische stof gehalte van compost kan namelijk ook tot een aantal positieve effecten leiden. Het gaat met name om een verminderd risico voor waterstagnatie, een verbetering van het vochtvasthoudendvermogen, een verrijking van het bodemleven, betere mogelijkheden voor de beworteling, een hogere nutriëntenbeschikbaarheid en een productiestijging (De Wit, 2013).

Bloembollenteelt

In de bloembollenteelt is naast het op peil houden van de nutriëntenvoorraad ook het organische stofgehalte van de bodem van groot belang. Om het organische stofgehalte van de zee- en duinzandgronden in de Bollenstreek en Kennemerland op peil te houden wordt veelvuldig gebruik gemaakt van stalmest en GFT-compost (Bokhorst et al., 2008). GFT-compost heeft een positieve uitwerking op het organische stof gehalte, terwijl stalmest aanvullend op de opbouw van het organische stof gehalte ook van belang is voor het onderhouden van de bodemstructuur (Bokhorst et al., 2008). Drijfmest wordt daarentegen nagenoeg niet toegepast vanwege de geringe bijdrage aan de opbouw van het organische stof gehalte van de bodem (Bokhorst et al., 2008). Daarnaast bevat drijfmest een relatief hoog gehalte aan stikstof, waardoor er in verhouding minder organische stof kan worden toegevoerd (Bokhorst et al., 2008).

Op het gebruik van stalmest is de gebruiksnorm voor dierlijke meststoffen van toepassing. Hierdoor kan de voorkeur verschuiven naar GFT-compost (Bokhorst et al., 2008). Een nadeel van GFT-compost is het relatief hoge fosfaatgehalte waardoor als gevolg van de gebruiksnorm voor fosfaat niet altijd kan worden voldaan aan de gewenste organische stof toevoer (Bokhorst et al., 2008). De inzet van kunstmest wordt pas dan een optie wanneer er is voldaan aan de vereiste toevoer van de organische stof.

pH-regulatie

Naast het op peil houden van de nutriënten- en organische stof-voorraad is een juiste zuurgraad van de bodem eveneens een randvoorwaarde voor een efficiënte groeiopbrengst. De pH-waarde kan worden verhoogd door het toedienen van stoffen met een neutraliserend effect. In de praktijk wordt hier vaak schuimaarde voor gebruikt. Dit is een kalkhoudende stof welke wordt gevormd bij de productie van suiker. Het wordt onder meer op de markt gebracht onder de handelsnaam Betacal. In Bijlage 12 is de samenstelling van Betacal opgenomen.

Inperking keuzevrijheid inzet meststoffen en bodemverbeteraars

Zowel voor de akkerbouw als de bloembollenteelt geldt dat de keuzevrijheid van de vorm waarin bemesting plaatsvindt ook wordt bepaald door het groeistadium waarin een gewas zich bevindt. Dierlijke mest (onbewerkte mest, dunne en dikke fractie), compost, digestaat en zuiveringsslib zijn stromen welke over het algemeen alleen voorafgaand aan het zaaien, poten of planten aan bouwgrond kunnen worden toegevoegd. Kunstmest en mineralenconcentraten worden daarentegen vaak toegediend, wanneer het gewas zich al boven het maaiveld heeft ontwikkeld.

3. Methode van onderzoek

3.1 Afbakening van het onderzoek

Het opstellen van een metaalbalans voor de akkerbouw en bloembollenteelt kan plaatsvinden op verschillende schaalniveaus; nationaal, bedrijf en perceel (De Vries et al., 2002). Een metaalbalans op nationaal niveau geeft inzicht in de zware metalen stromen van de gehele nationale akkerbouw- of bloembollensector. Bij het opstellen van metaalbalansen op nationaal niveau wordt uitgegaan van landelijke databases en statistieken, onder andere aangaande het gebruik van meststoffen en de productie van agrarische producten (gewassen). Deze analyses geven daarmee een gemiddeld landelijk beeld. Op basis daarvan kunnen knelpunten worden vastgesteld, welke kunnen dienen als uitgangspunt voor beleidsvorming (De Vries et al., 2002; Moolenaar, 1998). Een metaalbalans op bedrijfsniveau kan worden gebruikt voor het inzichtelijk maken van knelpunten en optimalisatiemogelijkheden met betrekking tot de metalenvrachten op een afzonderlijk bedrijf (Moolenaar, 1998). De perceelsbalans wordt opgesteld voor de bouwvoor of een bodemprofiel van een afzonderlijk perceel binnen een bedrijf (De Vries et al., 2002; Moolenaar, 1998). Er wordt op perceelsniveau gekeken naar de in- en uitgaande stromen en op basis daarvan wordt de accumulatie van metalen in de bouwvoor of het bodemprofiel afgeleid. Hierbij wordt rekening gehouden met de specifieke eigenschappen van het desbetreffende perceel, zoals bodemsamenstelling, bemesting en teelt. De vraagstelling van dit onderzoek vereist het toepassen van een metaalbalans op perceelsniveau. Daarbij is namelijk sprake van een directe koppeling tussen de inzet van meststoffen en bodemverbeteraars en de daaruit voortvloeiende kwaliteit van de bodem, het gewas en het grond- en oppervlaktewater.

De landbouwsector in Nederland is een veelzijdige sector met veel verschillende gewassen. Gezien de aanleiding van het onderzoek (een mogelijke toename van de inzet van reststromen) is de keuze gemaakt om graslanden niet mee te nemen. Graslanden zijn in de regel namelijk verbonden aan (melk)veebedrijven, waardoor er vooral gebruik wordt gemaakt van de bedrijfsgebonden dierlijke mest. De ruimte voor de inzet van reststromen is daarmee beperkt. Het onderzoek richt zich daardoor op de akkerbouw en bloembollenteelt. Binnen de akkerbouw en bloembollenteelt is eveneens sprake van grote verscheidenheid. In verband met de representativiteit van de onderzoeksresultaten voor de Nederlandse situatie is uitgegaan van de meest voorkomende gewasrotaties. Dat betreft aardappel, suikerbiet, zomertarwe en mais voor de akkerbouw (P.F.A.M. Römken, persoonlijke communicatie, 25 maart 2014). Bij de bloembollenteelt is gekozen voor een driejarige rotatie van hyacint, narcis en tulp (P.A.I. Ehlert, persoonlijke communicatie, 7 juli 2014).

Akkerbouw vindt vooral plaats op kleigronden (fluviatiele klei, mariene klei) en zandgronden. De kalkrijke zandgronden worden veelvuldig ingezet voor de bloembollenteelt (CBS, PBL, & Wageningen UR, 2014). Dat zijn dan ook de bodemtypen welke in dit onderzoek zijn betrokken. Veengronden zijn buiten beschouwing gelaten vanwege het feit dat dergelijke gronden hoofdzakelijk worden ingezet als weidegebied.

Voor wat nutriënten betreft richt het onderzoek zich alleen op de aanvoer van zware metalen vanuit de stikstof- en fosfaathoudende meststoffen en bodemverbeteraars. Door de relatief lage metaalgehalten is de aanvoer van zware metalen vanuit de kaliummeststoffen namelijk te verwaarlozen (Ehlert, Posthuma et al., 2013; Remy & Ruland, 2006; Westhoek et al., 1996).

3.2 Literatuuronderzoek

De ontwikkelingen rondom de herziening van de Europese Verordening inzake meststoffen (EG 2003/2003), de end-of-waste benadering vanuit de Richtlijn afvalstoffen (2008/98/EG) en de mogelijke herziening van de Richtlijn betreffende het gebruik van zuiveringsslib in de landbouw

(86/278/EEG) zijn geanalyseerd. Dit om na te gaan welke reststromen in de toekomst (mogelijk) inzetbaar zijn als meststof en/of bodemverbeteraar in de Nederlandse akkerbouw en bloembollenteelt.

Verder is onderzoek uitgevoerd naar verschillende aspecten welke samenhangen met het gebruik van meststoffen en bodemverbeteraars (betreft zowel reststromen, mestverwerkingsproducten als reguliere producten). De omvang van het aanbod van de geselecteerde meststoffen en bodemverbeteraars in Nederland is nagegaan. Dit geeft een beeld van de mate waarin deze in aanmerking zouden kunnen komen voor daadwerkelijke toepassing. Vervolgens is ook gekeken naar de samenstelling van de meststoffen en bodemverbeteraars. Het gaat dan onder meer om het gehalte aan nutriënten (stikstof en fosfor), zware metalen, organische stof en droge stof. Tevens is op basis van beleidsstukken nagegaan op welke wijze de grenswaarden voor zware metalen in meststoffen en bodemverbeteraars (in de toekomst mogelijk) worden gereguleerd. Daar waar mogelijk is de samenstelling van de meststoffen en bodemverbeteraars getoetst aan de voorgestelde concept-grenswaarden voor zware metalen. Tevens is onderzoek uitgevoerd naar de landbouwkundige praktijk betreffende de inzet van meststoffen en bodemverbeteraars in de akkerbouw en bloembollenteelt.

Tot slot is literatuuronderzoek uitgevoerd naar de opzet en het gebruik van metaalbalansen.

De resultaten van deze literatuuronderzoeken zijn verwerkt in de hoofdstukken inleiding, theoretisch kader en methode.

3.3 Keuze van het bouwplan

In de akkerbouwpraktijk wordt hetzelfde stuk bouwland in de regel niet jaren achtereen bebouwd met dezelfde gewassen. Er vindt vruchtwisseling plaats om ongewenste plantenziekten en verstoring van de fysische eigenschappen van de bodem (structuurbederf) zoveel mogelijk tegen te gaan (Van Dijk, Spruijt, Runia, & Van Geel, 2012). Een veel voorkomend bouwplan op hetzelfde stuk bouwland bestaat uit de jaarlijkse opvolging van de teelt van aardappelen, suikerbieten, zomertarwe en mais. Door het wisselen van de gewassen zal ook variatie optreden in de jaarlijkse toevoer van meststoffen en nutriënten.

Het klassieke bouwplan (bestaande uit aardappel, suikerbiet, zomertarwe en mais) is in deze studie als uitgangspunt genomen. In tabel 3.1 zijn de gebruiks- en adviesnormen voor de bemesting behorende bij dit bouwplan opgenomen.

Tabel 3.1: *Gebruiks- en adviesnormen voor meststoffen behorende bij het bouwplan aardappel, suikerbiet, zomertarwe en mais*

Gewas	Gebruiksnormen meststoffen ¹			Adviesnormen ²		
	Dierlijk kg N.ha ⁻¹	Stikstof ³ kg N.ha ⁻¹	Fosfaat ⁴ kg P ₂ O ₅ .ha ⁻¹	1 ^e gift Stikstof ⁵ kg N.ha ⁻¹	2 ^e gift Stikstof ⁵ kg N.ha ⁻¹	Fosfaat ⁷ kg P ₂ O ₅ .ha ⁻¹
Aardappel	170	260	65	228	0	70
Suikerbiet	170	145	65	132	0	40
Zomertarwe	170	140	65	80	50	0
Mais	170	140	65	165	170	90 ⁶

¹ Uitvoeringsregeling Meststoffenwet; ² De Haan & Van Geel, 2013; ³ Normen gelden voor zandgrond; ⁴ Norm voor landbouwgronden met een neutrale fosfaattoestand; ⁵ Uitgangspunt van de hoeveelheid oplosbaar mineraal N (ammonium en nitraat) in de bodem is 40 kg N.ha⁻¹; ⁶ De Haan & Van Geel, 2013; ⁷ Waarden behoren bij Pw = 45 mg P₂O₅.l⁻¹ (De Haan & Van Geel, 2013)

Tevens is gekeken naar een bouwplan voor de bloembollenteelt op de kalkrijke zee- en duinzandgronden in de Bollenstreek Zuid-Holland en Kennemerland Noord-Holland. Deze gronden zijn uitermate geschikt voor de bloembollenteelt, maar het beschikbare aantal percelen is beperkt. Hierdoor vindt er, in tegenstelling tot de akkerbouwpraktijk, geen vruchtwisseling plaats door in opeenvolgende jaren duidelijk verschillende gewassen te telen op een perceel. Wel wordt er gewisseld met bloembolgewassen, maar ondanks deze jaarlijkse wisseling is er als gevolg van de grote verwantschap tussen de verschillende bloembolgewassen min of meer sprake van een monocultuur. Het beschouwde bouwplan betreft de jaarlijkse opeenvolging van hyacint, narcis en tulp (Bokhorst et al., 2008). De gebruiks- en adviesnormen behorende bij dit bouwplan zijn opgenomen in tabel 3.2.

Tabel 3.2: *Gebruiks- en adviesnormen voor meststoffen behorende bij het bouwplan hyacint, narcis en tulp*

Gewas	Gebruiksnormen meststoffen ¹			Adviesnormen ²		
	Dierlijk kg N.ha ⁻¹	Stikstof ³ kg N.ha ⁻¹	Fosfaat ⁴ kg P ₂ O ₅ .ha ⁻¹	1 ^e gift Stikstof kg N.ha ⁻¹	2 ^e gift Stikstof ^{5,7} kg N.ha ⁻¹	Fosfaat ⁶ kg P ₂ O ₅ .ha ⁻¹
Hyacint	170	210	80	85	120	75
Narcis	170	140	80	40	85	40
Tulp	170	190	80	80	100	40

¹ Uitvoeringsregeling Meststoffenwet; ² Van Dam & Van Reuler, 2013; ³ Normen gelden voor zandgrond; ⁴ Norm voor landbouwgronden met een lage fosfaattoestand; ⁵ In de praktijk is er sprake van meerdere afzonderlijke giften; ⁶ Van Dam & Van Reuler, 2013 (Waarden behoren bij Pw = 25 mg P₂O₅.l⁻¹); ⁷ Uitgangspunt is een N-mineraal voorraad in de bodem van 10 kg.ha⁻¹ (maart), 35 kg.ha⁻¹ (april t/m juni), 40 kg.ha⁻¹ (juli) en 45 kg.ha⁻¹ (augustus) (Bokhorst et al., 2008)

3.4 Gehanteerde bemestingsscenario's

Op basis van de gangbare landbouwpraktijk (Bokhorst et al., 2008; De Hoop et al., 2011; P.A.I. Ehlert, persoonlijke communicatie, 15 april 2014) zijn voor de bouwplannen van de akkerbouw en bloembollenteelt diverse bemestingsscenario's opgesteld (zie Bijlage 21 en 22). Het gaat daarbij om de keuze van de meststoffen welke worden ingezet om uiteindelijk binnen de geldende wet- en regelgeving de gewenste hoeveelheid nutriënten in de bodem te kunnen brengen.

Allereerst zijn voor de akkerbouw en de bloembollenteelt referentiebemestingsscenario's (A-1, K-1, L-1) benoemd. Het betreft combinaties van meststoffen welke in de huidige praktijk de standaard vormen. Aanvullend zijn alternatieve bemestingsscenario's opgesteld om ten opzichte van de referentie het effect van de inzet van andere meststoffen en bodemverbeteraars (waaronder reststromen en mestverwerkingsproducten) te kunnen vaststellen.

3.5 Bemestingsmodel

Voor een bouwplan akkerbouw (vierjaarlijkse rotatie van aardappel, suikerbiet, zomertarwe en mais) en bloembollenteelt (driejaarlijkse rotatie van hyacint, narcis en tulp) is in een spreadsheet (Excel) een bemestingsmodel (zie Bijlage 56) opgesteld om de toevoer van zware metalen naar de bodem als gevolg van het toedienen van meststoffen en bodemverbeteraars te kunnen vaststellen. Onder elke lichtblauw gearceerde cel bevindt zich een keuzemenu. In de niet-gearceerde cellen met het blauwe lettertype kunnen naar behoefte andere gegevens worden ingevoerd. De doorrekening verloopt geheel automatisch.

Het rekenmodel is gebaseerd op de samenstelling van meststoffen en bodemverbeteraars, de geldende gebruiks- en adviesnormen (voor stikstof, fosfaat en droge stof), de werkingscoëfficiënten voor stikstof in meststoffen, de wettelijke (concept)grenswaarden voor zware

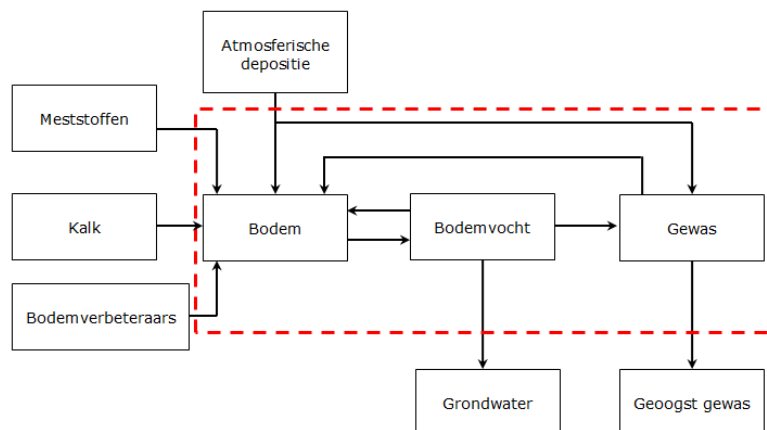
metalen in meststoffen/bodemverbeteraars en landbouwkundige kennis (zie Theoretische kader). Voor wat betreft de samenstelling is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van de gehalten (droge stof, organische stof, nutriënten en zware metalen) behorende bij de meststoffen en bodemverbeteraars welke zijn geproduceerd en/of worden gebruikt in Nederland.

Met behulp van het rekenmodel is voor de bemestingsscenario's van de akkerbouw en bloembollenteelt de zware metalen vracht naar de bodem als gevolg van het toedienen van meststoffen en bodemverbeteraars berekend. Bij het doorrekenen van bemestingsscenario's met daarin voorgestelde concept-grenswaarden voor zware metalen is uitgegaan van volledige opvulling van de grenswaarden.

Elk bemestingsscenario leidt tot een verandering in de vracht zware metalen welke op de bodem wordt gebracht. Binnen het bouwplan kan er ook nog eens variatie optreden als gevolg van de hoeveelheid meststoffen welke een gewas volgens de gebruiks- of adviesnormen mag of kan ontvangen. Om een vergelijking te kunnen maken tussen de verschillende bemestingsscenario's is ervoor gekozen om per gewasrotatie de jaarlijks gemiddelde toevoer van zware metalen vast te stellen.

3.6 Beschrijving toegepaste metaalbalansmodel

Om de invloed van de inzet van meststoffen en bodemverbeteraars (waaronder reststromen en mestverwerkingsproducten) in de Nederlandse akkerbouw en bloembollenteelt op het verloop van het metaalgehalte of de metaalconcentratie in bodem, gewas, grond- en oppervlaktewater te kunnen vast stellen is gebruik gemaakt van een metaalbalans. Dit onderzoek richt zich op de korte- en langetermijnontwikkelingen van metaalbalansen op perceelsniveau. Een schematische weergave van een metaalbalans op perceelsniveau is opgenomen in Figuur 3.1.



Figuur 3.1: Een schematisch overzicht van de invoer, interne uitwisseling en uitvoer van zware metalen op perceelsniveau (De Vries et al., 2002).

Het compartiment waarover de metaalbalans is opgesteld (de bouwvoor) is afgebakend met het rode kader. De ingaande balansposten betreffen de atmosferische depositie en het gebruik van meststoffen en bodemverbeteraars. Hoewel ook irrigatiewater en bestrijdingsmiddelen een bron van zware metalen (kunnen) vormen, zijn deze in de verdere analyse buiten beschouwing gelaten. Dit vanwege het relatief kleine aandeel in de totale aanvoer van zware metalen (Nicholson, Smith, Alloway, Carlton-Smith, & Chambers, 2003). De uitspoeling naar het grondwater (uitloging) en de afvoer met de geoogste gewassen zijn de uitgaande balansposten. De genoemde onderdelen van de metaalbalans zijn onderstaand verder uitgewerkt.

3.6.1 Atmosferische depositie

De belasting van de bodem en het oppervlaktewater met stoffen vanuit de atmosfeer wordt atmosferische depositie genoemd. De stoffen – in dit geval zware metalen – zijn door allerlei processen in de atmosfeer terecht gekomen. De emissie van zware metalen wordt veroorzaakt door de (chemische) industrie, aardolieraffinaderijen, energiecentrales, afvalverbrandingsinstallaties en het verkeer (Mennen et al., 2010). Daarnaast bestaan er ook natuurlijke emissiebronnen voor zware metalen, zoals vulkaanuitbarstingen en bosbranden (Moolenaar, 1998). Na de emissie naar de lucht vindt verspreiding in de atmosfeer plaats. Uiteindelijk komen de zware metalen via droge of natte depositie (neerslag) weer op de bodem of in het oppervlaktewater terecht. Tabel B.11.1 (Bijlage 11) geeft een prognose van deze atmosferische depositie.

3.6.2 Meststoffen en bodemverbeteraars

De toevoer van zware metalen is afhankelijk van het bouwplan en de toegepaste combinatie van meststoffen en bodemverbeteraars. Met behulp van het bemestingsmodel (Excel-model) is voor verschillende akkerbouwgewassen en bloembollensoorten, op basis van de hoeveelheid én de samenstelling van de toegediende meststoffen en bodemverbeteraars, de jaarlijkse zware metalen vracht naar de bodem berekend.

3.6.3 Kalkmeststoffen

Zowel in de akkerbouw als bij de bloembollenteelt vindt pH-regulatie plaats. In Nederland wordt hiervoor veelvuldig gebruik gemaakt van schuimaarde (Betacal). De gemiddelde samenstelling van het product is opgenomen in Bijlage 12. In de praktijk vindt vaak éénmaal per gewasrotatie een dosering van Betacal plaats (P.A.I. Ehlert, persoonlijke communicatie, 14 april 2014). De hoogte van de dosering is onder meer afhankelijk van de heersende zuurgraad, het bodemtype en de gewassen in het bouwplan (De Haan & Van Geel, 2013; Van Dam & Van Reuler, 2013). In dit onderzoek is een standaardwaarde aangehouden van 400 kilogram neutraliserende waarde per hectare (1x per gewasrotatie). Betacal bevat geringe hoeveelheden fosfaat en stikstof (respectievelijk 1,90 en 0,50% van de droge stof) (Instituut voor Rationele Suikerproductie, 2004). Vanwege de geringe bijdrage zijn deze vrachten niet meegeteld voor de gebruiks- en adviesnormen (formeel gezien is dit echter wel verplicht).

3.6.4 Uitlogging

Om de uitspoeling van zware metalen vanuit de bouwvoor naar het grondwater te kunnen berekenen zijn twee aspecten van belang. Het betreft het jaarlijkse neerslagoverschot en de concentratie zware metalen welke aanwezig is in het bodemvocht. De combinatie van deze twee componenten geeft de vracht welke uitspoelt naar het grondwater.

Het jaarlijkse neerslagoverschot is bepaald aan de hand van de volgende vergelijking (De Vries et al., 2004).

$$PE = ((1 - fr_{int}) \cdot P) - (E_s + E_t) \quad [1]$$

waarin: PE = Neerslagoverschot (mm.jaar⁻¹); fr_{int} = Interceptie fractie (akkerbouwgrond voor mais en overige gewassen 0,1); P = Neerslag (mm.jaar⁻¹); E_s = Bodemevaporatie (mm.jaar⁻¹); E_t = Transpiratie (mm.jaar⁻¹)

De gemiddelde waarden voor de som van bodemevaporatie (E_s) en transpiratie (E_t) zijn: maisland = 361 mm.jaar⁻¹ en overig akkerbouwland (inclusief bloembollenteelt) = 349 mm.jaar⁻¹ (De Vries et al., 2004).

Voor de berekening van de metaalconcentraties in het bodemvocht aan de hand van het metaalgehalte in de bodem is gebruik gemaakt van de methode zoals verwoord in Römken, Groenenberg, Bonten, De Vries, & Bril (2004). In verband met een gebrek aan data is het voor kwik onmogelijk gebleken om relaties te leggen tussen het gehalte in de bodem en de concentratie in het bodemvocht.

De methode om op basis van het reactieve metaalgehalte in de bodem de metaalconcentratie in het bodemvocht vast te stellen is ingegeven door het feit dat een deel van het metaal is ingebouwd in de bodemmatrix (Römken et al., 2004). Deze inerte fractie is op korte termijn niet beschikbaar voor interactie met het bodemvocht. Dit in tegenstelling tot het reactieve deel welke binnen een tijdspanne van ten hoogste enkele dagen wel beschikbaar is en daardoor ook kan bijdragen aan de metaalconcentratie in het bodemvocht (Groenenberg et al., 2010).

Als eerste is aan de hand van het metaalgehalte totaal in de bodem het reactieve metaalgehalte bepaald (Vergelijking 2).

$$\text{Log}[\text{Me}_{\text{Bodem-Reactief}}] = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot \text{log}[\text{Me}_{\text{Bodem-Totaal}}] + \alpha_2 \cdot \text{log}[\text{OM}] + \alpha_3 \cdot \text{log}[\text{Lutum}] \quad [2]$$

waarin: $\text{Me}_{\text{Bodem-Reactief}}$ = Reactief metaalgehalte in de bodem ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ ds}$); $\text{Me}_{\text{Bodem-Totaal}}$ = Metaalgehalte totaal ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ ds}$); OM = Organisch stof gehalte (%); Lutum = Lutumgehalte ($< 2 \mu\text{m}$) (%); α_x = Modelcoëfficiënten (zie Bijlage 13)

Het reactieve metaalgehalte is gebruikt om met Vergelijking 3 de metaalconcentratie in het bodemvocht te berekenen.

$$\text{Log}[\text{Me}_{\text{Bodemvocht}}] = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{log}[\text{Me}_{\text{Bodem-Reactief}}] + \beta_2 \cdot \text{log}[\text{OM}] + \beta_3 \cdot \text{log}[\text{Lutum}] + \beta_4 \cdot [\text{pH-CaCl}_2] \quad [3]$$

waarin: $\text{Me}_{\text{Bodemvocht}}$ = Metaalconcentratie in het bodemvocht ($\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$); voor As en Cr ($\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$); $\text{Me}_{\text{Bodem-Reactief}}$ = Reactief metaalgehalte in de bodem ($\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ ds}$); OM = Organisch stof gehalte (%); Lutum = Lutumgehalte ($< 2 \mu\text{m}$) (%); pH-CaCl₂ = Zuurgraad van de bodem bepaald in een CaCl₂-oplossing (-); β_x = Modelcoëfficiënten (zie Bijlage 13)

Op basis van vergelijking 1 en 3 is vergelijking 4 afgeleid, waarmee de uitloging van het metaal vanuit de bouwvoor is berekend (De Vries et al., 2004).

$$\text{Me}_{\text{Uitloging}} = \text{PE} \cdot \text{Me}_{\text{Bodemvocht}} / 1.000 \quad [4]$$

waarin: $\text{Me}_{\text{Uitloging}}$ = Metaalvrucht welke uitloopt vanuit de bouwvoor ($\text{g} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jaar}^{-1}$); PE = Neerslagoverschot ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jaar}^{-1}$); $\text{Me}_{\text{Bodemvocht}}$ = Metaalconcentratie in het bodemvocht ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)

3.6.5 Metaal-afvoer door gewassen

De afvoer van metalen uit de bodem door gewassen is verkregen door de yield te vermenigvuldigen met het metaalgehalte (totaal) van het betreffende gewas (Vergelijking 5) (Groenenberg et al., 2006).

$$\text{Me}_{\text{Gewas-afvoer}} = Y \cdot \text{Me}_{\text{Gewas}} / 1.000 \quad [5]$$

waarin: $\text{Me}_{\text{Gewas-afvoer}}$ = Metaal-afvoer door geoogste gewassen ($\text{g} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jaar}^{-1}$); Y = Yield ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jaar}^{-1}$) of ($\text{kg ds} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jaar}^{-1}$); Me_{Gewas} = Metaalgehalte van het gewas ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) of ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ ds}$)

De gegevens betreffende de yield voor akkerbouw- en bloembolgewassen zijn opgenomen in Bijlage 14. De waarde voor de yield van mais is afhankelijk van het bodemtype en de drainagetoestand (Groenenberg et al., 2006). Een natte en droge drainagetoestand zijn vaak van korte duur en daardoor niet representatief voor de gemiddelde groeiopbrengst. In de berekeningen

met de metaalbalans is voor de gewassen dan ook alleen uitgegaan van data behorende bij de vochtige drainagetoestand.

Voor het afleiden van metaalgehalten in akkerbouwgewassen is voor zover mogelijk gebruik gemaakt van empirische bodem-plant relaties. Vergelijking 6 geeft de algemene vorm van een bodem-plant relatie (Römkens, Groenenberg, Rietra, & De Vries et al., 2007).

$$\text{Log [Me}_{\text{Gewas}}] = \gamma_0 + \gamma_1 \cdot [\text{pH-KCl}] + \gamma_2 \cdot \log[\text{OM}] + \gamma_3 \cdot \log[\text{Lutum}] + \gamma_4 \cdot \log[\text{Me}_{\text{Bodem}}] \quad [6]$$

waarin: Me_{Gewas} = Metaalgehalte in het gewas (mg.kg^{-1} ds); pH-KCl = Zuurgraad van de bodem bepaald in een KCl-oplossing (-); OM = Organische stof (%); Lutum = Lutum (%); Me_{Bodem} = Metaalgehalte (totaal) in de bodem (mg.kg^{-1} ds); γ_x = Modelcoëfficiënten (zie Bijlage 15)

In Bijlage 15 zijn voor cadmium, koper, lood en zink de bij de vergelijking behorende modelcoëfficiënten opgenomen. In het geval sprake is van een $R^2 < 0,5$ is de voorspellende waarde van de variatie in het gewasgehalte dusdanig laag, dat er voor is gekozen om de bodem-plant relatie in dergelijke gevallen niet toe te passen (De Vries et al., 2008). In het kader van deze studie is het model alleen toegepast voor cadmium (aardappel, suikerbiet, zomertarwe en mais) en zink (suikerbiet, zomertarwe en mais).

Voor arseen en kwik kan geen bodem-plant relatie worden aangetoond. Tegelijkertijd bestaan er voor genoemde parameters ook geen verschillen in gewasgehalte per bodemtype (Römkens et al., 2007). Voor chroom en nikkel zijn voor Nederland onvoldoende gegevens beschikbaar om een bodem-plant relatie te kunnen afleiden (De Vries et al., 2008).

De pH-waarden kunnen op verschillende wijzen worden gemeten (pH- CaCl_2 , pH- H_2O en pH-KCl). Dit leidt tot systematische verschillen in de gerapporteerde zuurgraad (Smolders et al., 2007). In vergelijking 6 is de zuurgraad uitgedrukt als pH-KCl. De zuurgraad van de bodem (zie Bijlage 20) is echter gerapporteerd als pH- CaCl_2 . Het is dan ook noodzakelijk om de pH-waarden van de bodem om te rekenen. Hiervoor is gebruik gemaakt van de relaties zoals opgenomen in Bijlage 16.

Als alternatief voor of bij het ontbreken van een bodem-plant relatie wordt ook wel gebruik gemaakt van de bioconcentratiefactor (BCF) of bioaccumulatiefactor (BAF) (Vergelijking 7), welke een lineair verband veronderstelt tussen het metaalgehalte in de plant en dat van de bodem (Römkens et al., 2007).

$$\text{BCF of BAF} = \text{Me}_{\text{Gewas}} / \text{Me}_{\text{Bodem}} \quad [7]$$

waarin: BCF of BAF = Bioconcentratiefactor of bioaccumulatiefactor (-); Me_{Gewas} = Metaalgehalte in het gewas (mg.kg^{-1} ds); Me_{Bodem} = Metaalgehalte in de bodem (mg.kg^{-1} ds)

Het toepassen van een bioconcentratiefactor of bioaccumulatiefactor is echter niet altijd gerechtvaardigd, aangezien voor een groot aantal combinaties van gewassen en metalen een dergelijk verband helemaal niet bestaat (Römkens et al., 2007). Dit is de reden waarom in het geval van het ontbreken van een bodem-plant relatie geen bioconcentratiefactor of bioaccumulatiefactor is gebruikt, maar een vaste waarde van het metaalgehalte van het gewas (zie Bijlage 17, tabel B.17.2).

Een uitzondering is gemaakt voor lood (voor aardappel, suikerbiet en zomertarwe), waar voor de berekening van het metaalgehalte in het gewas wel gebruik is gemaakt van een bioconcentratiefactor. Het betreft in dat geval geen vaste, maar een variabele bioconcentratiefactor, waarvan de hoogte afhankelijk is van het loodgehalte in de bodem (Otte, Römkens, Rietra, & Lijzen, 2011).

$$\text{Log[BCF]} = \delta_0 + \delta_1 \cdot \log[\text{Pb}_{\text{Bodem}}] \quad [8]$$

waarin: BCF = Bioconcentratiefactor (-); δ_x = Modelcoëfficiënten (-) (zie Bijlage 18); Pb_{Bodem} = Loodgehalte (totaal) in de bodem (mg.kg^{-1} ds)

Het gebruik van de variabele bioconcentratiefactor voor lood is alleen toepasbaar binnen de 5- en 95-percentielgrenzen van de gebruikte dataset (Otte et al., 2011). De karakteristiek van de dataset is opgenomen in Bijlage 18.

Voor de metaalgehalten in bloembollen is gebruik gemaakt van de gegevens van Belder (2011). De betreffende gegevens zijn opgenomen in Bijlage 19. Door het ontbreken van analyseresultaten voor hyacint en narcis zijn als alternatief voor deze bloembolsoorten de analyseresultaten van tulpenbollen gehanteerd.

3.6.6 Veranderingen van metaalgehalten in de bouwvoor

De metaalbalans is opgesteld voor de bouwvoor van een perceel. Op basis van de in- en uitgaande metaalvrachten (zie Figuur 3.1) is het mogelijk om voor een gedefinieerde bouwvoor de metaal-accumulatie (of release in het geval van negatieve accumulatie) te berekenen (zie Vergelijking 9) (Groenenberg et al., 2006).

$$\text{Me}_{\text{Accumulatie}} = \text{Me}_{\text{Toevoer}} - \text{Me}_{\text{Gewas-afvoer}} - \text{Me}_{\text{Uitloging}} \quad [9]$$

waarin: $\text{Me}_{\text{Accumulatie}}$ = Metaalaccumulatie in de bouwvoor ($\text{g.ha}^{-1}.\text{jaar}^{-1}$); $\text{Me}_{\text{Toevoer}}$ = Toevoer van metalen (afkomstig van atmosferische depositie, meststoffen en bodemverbeteraars ($\text{g.ha}^{-1}.\text{jaar}^{-1}$); $\text{Me}_{\text{Gewas-afvoer}}$ = Metaal-afvoer door het afvoeren van geoogst gewas ($\text{g.ha}^{-1}.\text{jaar}^{-1}$); $\text{Me}_{\text{Uitloging}}$ = Uitloging van metalen naar het grondwater ($\text{g.ha}^{-1}.\text{jaar}^{-1}$)

Om op basis van de metaal-accumulatie (of release) in de bouwvoor vervolgens (een verandering van) een metaalgehalte in de bodem te kunnen berekenen is het noodzakelijk om de diepte van de bouwvoor te definiëren en daarnaast dient de dichtheid van de bodem bekend te zijn.

Voor de akkerbouw is voor de diepte van de bouwvoor 30 cm aangehouden, en voor de bloembollenteelt is uitgegaan van 40 cm (Bokhorst et al, 2008; Groenenberg et al., 2006). Er is vanuit gegaan dat de samenstelling van de bouwvoor over de gehele diepte homogeen is. Daarnaast is verondersteld - overigens gezien de geringe diepte van de bouwvoor een reële aanname - dat er sprake is van een geoxideerd milieu. Dit in verband met de geldigheid van de partitierelaties aangaande de verdeling van de metalen over de vaste bodemfase en het bodemvocht. Onder anaërobe omstandigheden gelden de partitierelaties niet vanwege de vorming van metaalsulfiden (Groenenberg et al., 2006).

Voor de berekening van de dichtheid van een minerale bodem en een veenbodem is respectievelijk vergelijking 10 en 11 gebruikt (Groenenberg et al., 2006).

$$\rho = 1.000 / (0,625 + 0,05 \cdot [\text{OM}] + 0,0015 \cdot [\text{Lutum}]) \quad [10]$$

$$\rho = 1.000 \cdot (0,725 - 0,337 \cdot \log[\text{OM}]) \quad [11]$$

waarin: ρ = Dichtheid bodem (kg ds.m^{-3}); OM = Organische stof gehalte (%); Lutum = Lutumgehalte (%)

De ontwikkeling van het metaalgehalte in de bouwvoor in de loop van de tijd is aan de hand van Vergelijking 12 berekend (Groenenberg et al., 2006).

$$Me_{\text{Gehalte-Bouwvoor}}(t) = Me_{\text{Gehalte-Bouwvoor}}(t-1) + Me_{\text{Bouwvoor}}(t-1, t) / (\rho \cdot Z \cdot 10) \quad [12]$$

waarin: $Me_{\text{Gehalte-Bouwvoor}}(t)$ = Metaalgehalte in de bouwvoor op tijdstip t ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ ds}$); $Me_{\text{Gehalte-Bouwvoor}}(t-1)$ = Metaalgehalte in de bouwvoor op tijdstip $t-1$ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ ds}$); $Me_{\text{Bouwvoor}}(t-1, t)$ = Metaalaccumulatie in de bouwvoor tussen $t-1$ en t ($\text{g} \cdot \text{ha}^{-1}$); ρ = Dichtheid bodem ($\text{kg ds} \cdot \text{m}^{-3}$); Z = Diepte van de bouwvoor (m)

Als initiële waarden voor de metaalgehalten in de bouwvoor op tijdstip $t=t-1$ zijn de gehalten gehanteerd zoals opgenomen in Bijlage 20.

3.7 Metaalbalansmodel

Op basis van de bovenstaande beschrijving is een generiek dynamisch metaalbalansmodel voor een perceel uitgewerkt in een spreadsheet (Excel).

Het metaalgehalte van de bodem op $t=t-1$ vormt het startpunt van de berekening. Vervolgens is voor $t=t$ de metaalaccumulatie uitgerekend. Deze is berekend door op $t=t$ de metaaltoevoer (afkomstig van meststoffen/bodemverbeteraars, kalk en atmosferische depositie) te verminderen met de metaalafvoer (uitloging en oogst van gewassen) (zie vergelijking 9). De uitloging op $t=t$ is berekend aan de hand van het metaalgehalte in de bodem op $t=t-1$. Hiertoe is via het reactieve metaalgehalte in de bodem (zie vergelijking 2) de metaalconcentratie in het bodemvocht op $t=t$ uitgerekend (zie vergelijking 3). Door de metaalconcentratie in het bodemvocht te combineren met het neerslagoverschot (zie vergelijking 4) is de uitloging op $t=t$ verkregen. Voor de berekening van de afvoer van metaal via het gewas op $t=t$ is op basis van het metaalgehalte in de bodem op $t=t-1$ een berekening gemaakt van het metaalgehalte in het gewas op $t=t$ (zie vergelijking 6). Als alternatief is ook gebruik gemaakt van vaste metaalgehalten en in het geval van lood van de variabele bioconcentratiefactor (vergelijking 7 en 8). Door het (berekende) metaalgehalte te vermenigvuldigen met de yield van het gewas (zie vergelijking 5) wordt de afvoer van metaal via de oogst van het gewas op $t=t$ verkregen. De metaalaccumulatie op $t=t$ is vervolgens op basis van de diepte van de bouwvoor en de dichtheid van de bodem omgerekend naar een verandering in het metaalgehalte van de bodem. Door deze verandering op te tellen bij het metaalgehalte van de bodem op $t=t-1$ is het metaalgehalte van de bodem op $t=t$ verkregen. Bovengenoemde berekening is vervolgens steeds herhaald.

De metaalbalans is ook in de vorm van een grafiek gegeven. Om een leesbare grafiek te krijgen voor de toevoer van metalen, de uitloging, de opname door gewassen en de accumulatie uit gegaan van gemiddelde waarden gedurende een gewasrotatie.

Er is sprake van twee versies van het metaalbalansmodel: één versie voor het bouwplan akkerbouw (zie Bijlage 57) en de andere versie voor het bouwplan bloembollenteelt (zie Bijlage 58). Het rekenmodel (metaalbalans) is gebaseerd op een perceel met een standaardgrootte van één hectare. In de cellen met het blauwe lettertype dient een waarde worden ingevuld. De doorrekening verloopt geheel automatisch.

3.8 Methode van dataverzameling

3.8.1 Dynamisch doorrekenen van de metaalbalans

Het bemestingsmodel is gekoppeld met het dynamische metaalbalansmodel voor de akkerbouw en de bloembollenteelt. Hierdoor is het mogelijk om bij een bepaald bemestingsscenario in één stap de ontwikkeling van de zware metaalgehalten/-concentraties in bodem, gewas en grondwater door te rekenen. Voor alle bemestingsscenario's is een dynamische doorrekening van de metaalbalans uitgevoerd.

Op een gegeven moment zal het metaalgehalte in de bouwvoor niet meer veranderen. De afvoer als gevolg van uitloging en de oogst van gewassen is op dat moment gelijk aan de aanvoer van metalen, waardoor er geen sprake is van accumulatie of release (Keller & Schulin, 2003). Er is een steady state situatie bereikt. Het aantal jaren wat noodzakelijk is om het steady state gehalte van het metaal in de bouwvoor te bereiken is rekenkundig bepaald door na te gaan wanneer het metaalgehalte over de gehele gewasrotatie gezien met $<0,01\%$ verandert (De Vries et al., 2002).

Voor elk bemestingsscenario zijn de metaalgehalten/-concentraties in de bodem, het gewas en het grondwater op de korte ($t=100$ jaar) en de lange termijn (steady state) vastgesteld.

3.8.2 Gevoeligheidsanalyse

De toevoer van zware metalen via atmosferische depositie en meststoffen en/of bodemverbeteraars is gebaseerd op gemiddelden. Om een indruk te krijgen van de gevoeligheid van de metaalbalans voor de atmosferische depositie en de samenstelling van meststoffen en/of bodemverbeteraars is voor de referentiescenario's van de akkerbouw en bloembollenteelt (A-1, K-1 en L-1) een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Hierbij is uitgegaan van een lagere (-25%) en hogere ($+25\%$) zware metalen vracht voor zowel de atmosferische depositie als de toevoer via meststoffen en/of bodemverbeteraars. Daarbij is gekeken naar het effect op het metaalgehalte in de bodem voor de steady state situatie. Wanneer het metaalgehalte in de bodem met 20% of meer verandert, is deze per definitie zeer gevoelig voor de verandering van de atmosferische depositie of het zware metaal gehalte van meststoffen en bodemverbeteraars.

3.8.3 Gehanteerde uitgangspunten

De bij de dynamische doorrekening gehanteerde uitgangspunten staan onderstaand vermeld en toegelicht.

Akkerbouw

De berekeningen voor zandgrond, fluviatiele en mariene klei zijn uitgevoerd op basis van de volgende uitgangspunten: neutrale fosfaattoestand ($P_w=45 \text{ mg.l}^{-1}$), gebruiksnormen voor dierlijke mest, adviesnormen voor stikstof, gebruiksnormen voor fosfaat (suikerbiet en zomertarwe), adviesnormen voor fosfaat (aardappel en mais), geen derogatie. Voor suikerbiet en zomertarwe is gekozen voor de gebruiksnorm van fosfaat. Hoewel de adviesnormen lager liggen zal een akkerbouwer vaak toch de gebruiksnorm voor fosfaat willen opvullen met dierlijke mest. Gebruik van dierlijke mest levert namelijk geld op. Enerzijds door de ontvangen vergoeding van de ontdoener en anderzijds door het beperken van de inzet van aanvullende stikstofbemesting. Voor aardappel en mais zijn de adviesnormen voor fosfaat gehanteerd. Deze overstijgen de gebruiksnorm, maar leiden wel tot een optimaal economisch resultaat, iets wat een akkerbouwer nastreeft. In de akkerbouwpraktijk zal de overschrijding van de gebruiksnorm op dit perceel gecompenseerd worden door op een ander perceel minder te bemesten. Dit vanwege het feit dat de gebruiksnormen op bedrijfsniveau gelden. Voor stikstof zijn voor alle gewassen de adviesnormen gehanteerd, aangezien stikstof in de vorm van kunstmestproducten bovenop de stikstof uit dierlijke mest wordt gegeven. Kunstmestproducten kosten de akkerbouwer geld, waardoor hij alleen de voor een optimale opbrengst noodzakelijke hoeveelheid zal toedienen. Opvullen tot de gebruiksnorm heeft geen zin omdat het de akkerbouwer per saldo minder oplevert; de adviesnorm is namelijk het economische optimum.

Bloembollenteelt

De berekeningen zijn uitgevoerd op basis van de volgende uitgangspunten: kalkrijke zandgrond, lage fosfaattoestand ($P_w=25 \text{ mg.l}^{-1}$), gebruiksnormen voor dierlijke mest, adviesnormen voor stikstof, gebruiksnormen voor fosfaat, geen derogatie.

Voor hyacint, narcis en tulp is gekozen voor het hanteren van de gebruiksnorm van fosfaat. Hoewel de adviesnormen lager liggen zal een bloembollenteler op de kalkrijke zandgronden toch de gebruiksnorm voor fosfaat willen opvullen. Door het opvullen van de norm met organische meststoffen (in de praktijk betreft het vaste rundveestalmest, GFT-compost of een combinatie van beide) wordt namelijk het organische stof gehalte van de bodem onderhouden. Het op peil houden van het organische stof gehalte is essentieel voor het creëren van de gewenste bodemkenmerken, welke leiden tot voldoende aanbod van nutriënten, water en zuurstof voor de groei van de bloembollen (Bokhorst et al., 2008).

Voor stikstof zijn voor hyacint, narcis en tulp de adviesnormen gehanteerd, aangezien stikstof in de vorm van kunstmestproducten bovenop de stikstof uit vaste rundveestalmest en/of GFT wordt gegeven. Deze producten kosten de bloembollenteler geld, waardoor hij alleen de voor een optimale opbrengst noodzakelijke hoeveelheid zal toedienen. Opvullen tot de gebruiksnorm heeft geen zin omdat het de bloembollenteler per saldo minder oplevert; de adviesnorm is namelijk het economische optimum.

3.9 Aanpak van de data-analyse

Om de invloed van de inzet van reststromen en mestverwerkingsproducten in de Nederlandse akkerbouw en bloembollenteelt op de kwaliteit van de bodem, gewas, grond- en oppervlaktewater te kunnen vaststellen zijn de berekende gehalten en concentraties op $t=100$ jaar en steady state getoetst aan de geldende kwaliteitsnormen.

Bij bemestingsscenario's met concept-grenswaarden voor zware metalen in meststoffen/bodemverbetersaars, waarbij een grenswaarde voor een metaal ontbreekt, is voor het betreffende metaal geen doorrekening van de metaalbalans voor de bouwvoor uitgevoerd. Als alternatief zijn in dat geval de concentraties en gehalten van de metaalbalansberekening van het bovenliggende bemestingsscenario overgenomen en getoetst aan de kwaliteitsnormen.

De bemestingsscenario's zijn op basis het aantal overschrijdingen van de kwaliteitsnormen onderling met elkaar vergeleken. De mate van overschrijding heeft bij de onderlinge vergelijking geen rol gespeeld.

3.9.1 Bodem en gewas

Voor landbouwgronden zijn LAC-2006 waarden afgeleid. Deze waarden zijn bedoeld als richtlijn voor de beoordeling van de bodemkwaliteit voor landbouwkundige doeleinden (Römkens et al., 2007). De LAC-waarde is "het laagste gehalte van een stof in de bodem dat bij overschrijding aanleiding kan geven tot het optreden van nadelige effecten voor de opbrengst en kwaliteit van agrarische producten en de gezondheid van mens en dier" (Technische commissie bodembescherming, 2002, p. 3). Het betreft nadrukkelijk een richtlijn zonder (bindende) wettelijke status (Römkens et al., 2007) voor de maximale gehalten in de bodem, welke bestaat naast de wettelijke productnormen uit de Warenwet. Een overzicht van de LAC-2006 waarden is opgenomen in Bijlage 38 en 39.

3.9.2 *Grondwater*

In verband met het toetsen van de grondwaterkwaliteit is gebruik gemaakt van de streef- en interventiewaarden uit de Circulaire bodemsanering per 1 juli 2013 (2013). De streefwaarden betreffen de concentraties waaronder er sprake is van verwaarloosbare risico's voor het ecosysteem. In het geval de interventiewaarde wordt overschreden is er sprake van een situatie waarin "de functionele eigenschappen die de bodem heeft voor mens, dier en plant ernstig zijn verminderd of dreigen te worden verminderd" (Circulaire bodemsanering per 1 juli 2013, 2013, p. 16). De streef- en interventiewaarden voor zware metalen in grondwater zijn opgenomen in Bijlage 40.

3.9.3 *Oppervlaktewater*

Voor het toetsen van de effecten van de verschillende bemestingsscenario's op de oppervlaktewaterkwaliteit is aansluiting gezocht bij het Besluit kwaliteitseisen en monitoring water 2009 (Bkwm 2009) en de onderliggende Regeling monitoring kaderrichtlijn water (Regeling monitoring). De in het besluit en de regeling opgenomen eisen (de zogenaamde milieukwaliteitsnormen) zijn afgestemd op het verkrijgen van de goede watertoestand. Het oppervlaktewater in Nederland dient in beginsel aan deze eisen te voldoen (Helpdesk Water, z.j.). De milieukwaliteitsnormen voor de zware metalen in landoppervlaktewater zijn opgenomen in Bijlage 41.

De concentraties in het bodemvocht/grondwater (dus nadrukkelijk niet de concentraties in het oppervlaktewater) zijn getoetst aan de milieukwaliteitsnormen voor zware metalen in landoppervlaktewater. In het geval van een overschrijding dient dit te worden geïnterpreteerd als een negatieve invloed op het bereiken van de gewenste oppervlaktewaterkwaliteit, aangezien het bodemvocht/grondwater uiteindelijk (deels) in het oppervlaktewater zal uitmonden.

4. Modelresultaten van de bemestingsscenario's

4.1 Belasting van bouwland met zware metalen

Atmosferische depositie en het toedienen van kalk, meststoffen en bodemverbeteraars zorgen voor de belasting van bouwland met zware metalen. Voor alle bemestingsscenario's is een toelichting gegeven op de berekende gemiddelde jaarlijkse toevoer van zware metalen.

4.1.1 Akkerbouw

De zware metalen vrachten zijn alleen berekend voor een zandgrond. De keuze hiervoor is ingegeven door het feit dat de bij klei (fluviatiele en mariene klei) behorende advies- en gebruiksnormen min of meer gelijk zijn aan die van zand. Hierdoor zijn de bevindingen welke worden gevonden bij de doorrekening van de zware metalen belasting van de zandgrond ook geldend voor de kleigronden.

Het overzicht van de berekende gemiddelde jaarlijkse toevoer van zware metalen is voor alle bemestingsscenario's opgenomen in Bijlage 23. Daaruit komen een aantal bevindingen naar voren, waarvan de belangrijkste onderstaand staan verwoord. In onderstaand overzicht wordt een daling in de zware metalen vracht alleen benoemd wanneer er sprake is van een sterke daling (-50% of meer). De gebruikte termen licht en sterk duiden op een verandering van 10-50% respectievelijk >50%.

- Het toepassen van alleen kunstmest (scenario B-1) leidt ten opzichte van de referentie (scenario A-1) tot een sterke daling van de koper- (-95%) en zinkvrachten (-89%). Dit wordt veroorzaakt door het wegvallen van de dunne varkensmest. Daarentegen vindt een lichte verhoging van de chroomvracht (+31%) en een sterke verhoging van de cadmium- (+231%) en arseenvracht (+80%) plaats. De verhogingen worden respectievelijk veroorzaakt door fosfaatkunstmest en kalkammonsalpeter.
- De inzet van mineralenconcentraten als dierlijke mest heeft ten opzichte van dunne varkensmest vooral een positief effect op de koper- (-93%) en zinkvrachten (-88%) (scenario C-1 versus A-1). De cadmium- (+194%) en chroombelasting (+16%) nemen bij scenario C-1 echter wel toe. Dit is het gevolg van het feit dat mineralenconcentraten weinig fosfaat bevatten, waardoor het noodzakelijk is om meer fosfaatkunstmest (met een relatief hoog cadmiumgehalte) in te zetten.
- De inzet van mineralenconcentraat als volwaardige kunstmestvervanger (scenario D-1) heeft ten opzichte van de referentie (A-1) een sterke verlaging van de arseenbelasting (-84%) tot gevolg.
- Het gebruik van de dunne fractie van varkensdrijfmest (scenario E-1) heeft ten opzichte van de referentie (scenario A-1) met uitzondering van de lichte verhoging van nikkel (+15%) nagenoeg dezelfde uitwerking op de zware metalen vrachten als scenario C-1.
- Ten opzichte van de referentie (scenario A-1) zorgt het toepassen van digestaat (scenario F-1) met uitzondering voor koper en zink voor een lichte (arseen; +36%) tot sterke stijging van de zware metalen belasting (cadmium = +85%, chroom = +188%, kwik = +54%, nikkel = +66%, lood = +59%).
- Kijkend naar de voorgestelde nieuwe grenswaarden voor zware metalen in digestaat leiden deze tot een sterke stijging van de zware metalen vrachten (scenario F-2 versus F-1). Vooral chroom, kwik, nikkel en lood springen er in negatieve zin bovenuit. Over de mogelijk toekomstige ruimte voor arseen is niets te zeggen, aangezien voor arseen geen nieuwe grenswaarde is voorzien.

- In vergelijking met het referentiebemestingsscenario (A-1) heeft vervanging van dunne varkensmest door zuiveringsslib (scenario G-1) alleen maar een positief effect op de koper- (-30%) en zinkvrachten (-26%). De vrachten van de overige metalen stijgen sterk (cadmium = +64%, chroom = +177%, kwik = +98%, nikkel = +103%, lood = +381% en arseen = +92%).
- Het gebruik van de dikke fractie van varkensdrijfmest (scenario H-1) als alternatief voor dunne varkensmest (scenario A-1) heeft een lichte stijging van de lood- (+18%) en zinkvrachten (+10%) tot gevolg. De belasting van de bodem met arseen stijgt echter sterk (+59%). Dit is het gevolg van het feit dat de dikke fractie een hogere fosfaat/stikstof-verhouding heeft, waardoor er in dat geval meer aanvullende stikstof in de vorm van kalkammonsalpeter (met een relatief hoog arseengehalte) moet worden toegediend.
- In het algemeen leiden de concept-grenswaarden voor EG-meststoffen tot hogere vrachten zware metalen (zie scenario B-2, D-2, E-2, F-3 en G-2). Uitzonderingen komen voor bij arseen (scenario E-1 versus E-2; G-1 versus G-2). Dit is het gevolg van het feit dat het huidige arseengehalte van kalkammonsalpeter al bijna op de voorgestelde nieuwe grenswaarde ligt. Voor chroom-totaal, koper en zink zijn geen grenswaarden voorzien, waardoor ook geen voorspelling is te maken van de ruimte die voor deze metalen in de toekomst wordt gegeven.

4.1.2 Bloembollenteelt

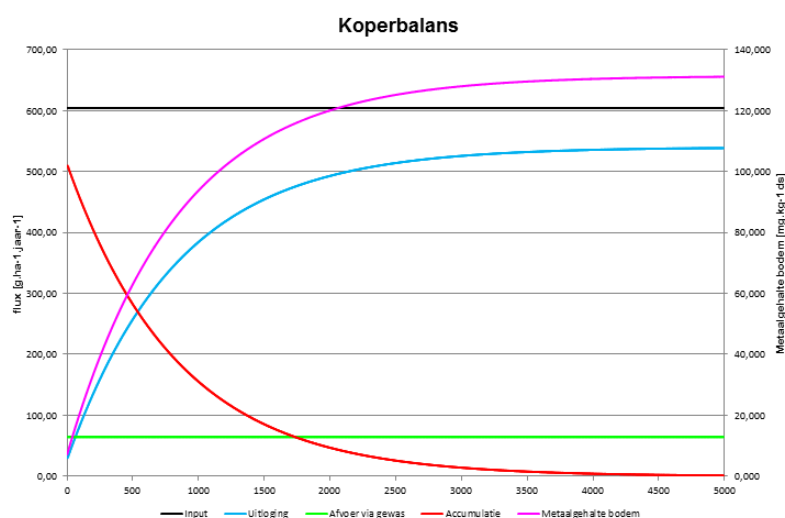
In Bijlage 24 is een overzicht van de berekende gemiddelde jaarlijkse toevoer van zware metalen opgenomen. Een vergelijking tussen verschillende bemestingsscenario's levert de volgende inzichten op.

- In de bloembollenteelt wordt veelvuldig gebruik gemaakt van GFT-compost (scenario K-1) en vaste rundveestalmest (scenario L-1). Het gebruik van GFT-compost levert echter een aanzienlijk hogere metaalbelasting van de bodem op.
- In de scenario's M-1 en M-2 komt het effect van het opvullen van de huidige (zie tabel 2.5) en mogelijk toekomstige grenswaarden (zie tabel 2.6) van GFT-compost naar voren. In beide gevallen nemen de metaalvrachten sterk (>50%) toe ten opzichte van de referentievariant (scenario K-1), waarbij is gerekend met de huidige gemiddelde samenstelling van GFT-compost. In de toekomst is er voor GFT-compost geen grenswaarde voor arseen voorzien.
- De concept-normen voor de EG-meststoffen leiden tot hogere vrachten zware metalen (zie scenario M-3 versus M-2 en scenario N-1 versus L-1). In het geval van chroom-totaal, koper, zink en arseen zijn geen grenswaarden voorzien, waardoor ook geen voorspelling is te maken van de ruimte die voor deze metalen in de toekomst wordt gegeven. De verhoging bij scenario M-3 is gering als gevolg van het relatief kleine aandeel van kunstmest op de totale zware metalen vracht van het scenario. Door het juist grotere aandeel van zware metalen afkomstig van kunstmest, komt bij scenario N-1 het effect van de hogere concept-grenswaarden voor kunstmest meer naar voren.
- In scenario O-1 is gebruik gemaakt van zuiveringsslib voor het opvullen van de gebruiksnorm voor fosfaat. Ten opzichte van het gebruik van GFT-compost (scenario K-1) liggen de metaalvrachten aanzienlijk (minimaal een factor twee) lager. Wanneer scenario O-1 wordt afgezet tegen het gebruik van vaste rundveestalmest (scenario L-1) is sprake van een lichte (+10%–50%) (cadmium, nikkel, lood, zink en arseen) tot sterke verhoging (>50%) van de metaalbelasting van de bodem (chroom, koper en kwik).

4.2 Metaalbalansen

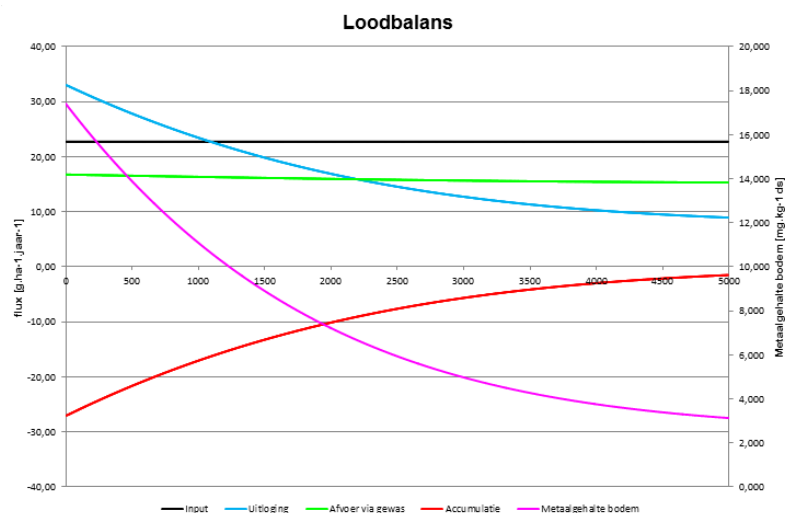
4.2.1 Dynamiek van metaalbalansen

Het metaalbalansmodel maakt het mogelijk om voor elk bemestingscenario een metaalbalans op te stellen. In verband met het grote aantal variabelen is het onmogelijk om deze allemaal te presenteren. Daarom is er voor gekozen om ter illustratie twee metaalbalansen op te nemen en de optredende dynamiek kort toe te lichten. Daarnaast zijn voor de referentie-bemestingscenario's (A-1, K-1 en L-1) de uitgewerkte metaalbalansen opgenomen in Bijlage 26, 28, 30, 32 en 33.



Figuur 4.1: Koperbalans scenario A-1 (zandgrond)

In het geval van de koperbalans (Figuur 4.1) is sprake van een vaste koperinput vanuit de atmosferische depositie, kalk, meststoffen en bodemverbeteraars. Bij $t=0$ is de koperinput groter dan de koperafvoer via de uitlozing naar het grondwater en de oogt van het gewas. Er is sprake van accumulatie. Dit leidt tot een stijging van het kopergehalte in de bodem. Hierdoor neemt echter ook de uitlozing van koper naar het grondwater toe. Uiteindelijk wordt daardoor de afvoer van koper gelijk aan de input, waardoor er geen sprake meer is van accumulatie. Het kopergehalte in de bodem heeft in dat geval een steady state bereikt.



Figuur 4.2: Loodbalans scenario A-1 (zandgrond)

Bij de loodbalans van Figuur 4.2 is geen sprake van accumulatie, maar wel van release. Bij $t=0$ wordt er via de uitloging naar het grondwater en de oogst van het gewas meer lood afgevoerd dan er wordt toegevoerd. Hierdoor zakt het loodgehalte in de bodem, waardoor de afvoer van lood via de uitloging en de gewassen vermindert. Uiteindelijk wordt ook in dit geval een steady state bereikt, waarbij er geen sprake meer is van release.

Indien er geen sprake is van steady state vindt er accumulatie of release plaats. Welk proces plaatsvindt is afhankelijk van de combinatie van de volgende factoren: het metaal, het bodemtype, het metaalgehalte in de bodem, de gewassen in het bouwplan, het neerslagoverschot en de metaalvrucht welke op de bodem wordt aangevoerd. De dynamiek van de metaalgehalten/concentraties van de bodem, het gewas en het grondwater is ook een gevolg van voornoemde combinatie van factoren.

4.2.2 Zware metalen in bodem, gewas, grond- en oppervlaktewater

Voor elk bemestingsscenario is een metaalbalansberekening uitgevoerd. De uitkomsten van de scenario-berekeningen zijn opgenomen in Bijlage 25, 27, 29 en 31. Het betreft de modelresultaten op $t=100$ jaar en de steady state situatie. De periode van 100 jaar is ingegeven vanuit een beleidsoogpunt. De modelresultaten op $t=100$ jaar kunnen een indicator zijn voor de urgentie van de aanpak van mogelijke knelpunten. Wanneer binnen een dergelijke periode problemen worden verwacht met de milieuhygiënische kwaliteit van bodem, gewas, grond- en/of oppervlaktewater kan het beleid dusdanig worden aangepast dat de negatieve effecten zoveel mogelijk worden tegen gegaan. De steady state situatie geeft een indruk van de ontwikkeling van de metaalconcentraties en -gehalten op lange tot zeer lange termijn in het geval de aanvoer van metalen binnen een bouwplan in de tijd gelijk blijft.

Het voert te ver om de resultaten van elk bemestingsscenario tot in detail te bespreken en/of te vergelijken met de uitkomsten van andere bemestingsscenario's. Dit is overigens ook niet noodzakelijk in het kader van dit onderzoek, aangezien het uiteindelijk gaat om de toetsing van deze rekenresultaten aan de (wettelijke) normen voor zware metalen in de bodem, het gewas en het grond- en oppervlaktewater.

4.2.3 Gevoeligheidsanalyse

Voor de referentiebemestingsscenario's van akkerbouw en bloembollenteelt (A-1 en K-1) is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor de atmosferische depositie en het gehalte aan zware metalen in de meststoffen en bodemverbeteraars. De resultaten van deze analyse zijn opgenomen in Bijlage 34 en 35.

Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat zowel voor scenario A-1 als K-1 het metaalgehalte in de bodem bij steady state vooral gevoelig is voor het metaalgehalte in de meststoffen en bodemverbeteraars.

4.2.4 Toetsing modelresultaten aan bereik datasets modelcoëfficiënten

In het metaalbalansmodel is voor de berekening van de metaalconcentraties in het grondwater uitgegaan van de metaalgehalten in de bodem. Door middel van twee sets van modelcoëfficiënten (zie Bijlage 13) is op basis van het totale metaalgehalte in de bodem, via het reactieve metaalgehalte in de bodem, de metaalconcentratie in het grondwater berekend. In het geval van de bodem-plant relaties voor cadmium en zink én de bioconcentratiefactor voor lood is eveneens gebruik gemaakt van modelcoëfficiënten (zie Bijlage 15 en 18).

De modelcoëfficiënten zijn afgeleid op basis van een dataset met een bepaald bereik. De gehanteerde bereiken van de datasets zijn opgenomen in Bijlage 13, 15 en 18. De modelresultaten zijn getoetst aan deze bereiken (zie Bijlage 36 en 37).

Het blijkt dat de berekende metaalgehalten van de bodem en het grondwater in de periode van 0-100 jaar volledig binnen het bereik van de dataset vallen. In de steady state situatie valt een aantal modelresultaten van (vooral) de bodem en het grondwater buiten het bereik van de dataset. Voor bodem-plant relatie voor cadmium en zink is er zowel voor de periode van 0-100 jaar als de steady state sprake van modelresultaten van de bodem en het gewas welke buiten het bereik van de dataset vallen. In het geval van lood vallen de modelresultaten voor de bodem en het gewas in de periode van 0-100 jaar volledig binnen het bereik van de dataset. Voor de steady state situatie vallen vooral loodgehalten in de bodem buiten het bereik van de dataset.

4.3 Toetsen milieuhygiënische kwaliteit aan (wettelijke) normen

De door middel van het metaalbalansmodel berekende metaalgehalten en -concentraties in bodem, gewas en grondwater zijn getoetst aan de geldende kwaliteitsnormen (zie Bijlage 42, 43, 44 en 45). Dit om de invloed van de inzet van reststromen en mestverwerkingsproducten in de Nederlandse akkerbouw en bloembollenteelt op de kwaliteit van de bodem, gewas, grondwater en oppervlaktewater te kunnen vaststellen.

4.3.1 Bodem en gewas

Om de kwaliteit van de bodem en het gewas te kunnen vaststellen zijn de berekende gehalten getoetst aan de LAC-2006 waarden (zie Bijlage 38 en 39). Het resultaat van deze toetsing is onderstaand toegelicht.

Akkerbouw

In Bijlage 46 zijn de overschrijdingen van de LAC-2006 waarden samengevat. Het gaat om overschrijdingen welke plaatsvinden na een periode van minimaal 100 jaar. Binnen de periode van 0 tot 100 jaar vinden geen overschrijdingen van de LAC-2006 waarden plaats. Op basis daarvan wordt geconcludeerd dat naar aanleiding van de toegevoerde metaalvruchten in betreffende periode geen negatieve effecten op de opbrengst en de kwaliteit van de gewassen zijn te verwachten.

De vergelijking van scenario B-1 en B-2 laat het gevolg zien van het voorstel van de nieuwe grenswaarden voor anorganische meststoffen (zie tabel 2.4). In het geval van de huidige samenstelling van de kunstmeststoffen wordt een overschrijding verwacht voor alleen arseen (zand, mariene klei, fluviatiele klei). Introductie van de nieuwe, hogere grenswaarden laat echter aanvullend ook overschrijdingen zien voor nikkel (zand, mariene klei, fluviatiele klei), lood (mariene klei, fluviatiele klei) en cadmium (mariene klei, fluviatiele klei).

Net als voor anorganische meststoffen is ook voor digestaat een nieuwe set grenswaarden voorgesteld (zie tabel 2.8). Uit de vergelijking van scenario F-1 en F-2 blijkt dat de nieuwe grenswaarden voor de beschouwde bodemtypen leiden tot aanvullende overschrijdingen van de LAC-2006 waarden voor chroom, nikkel en lood.

De producten van mestverwerking worden als alternatief voor de dunne varkensmest bij de referentievariant (scenario A-1) ingezet. Inzet van de dunne fractie van varkensmest (scenario E-1) of mineralenconcentraat (scenario C-1) als vervanger voor dunne varkensmest heeft een positief effect. Daar waar bij de referentievariant nog overschrijdingen van de LAC-2006 waarden worden

verwacht voor koper (zand, mariene klei, fluviatiele klei), zink (mariene klei) en arseen (fluviatiele en mariene klei), is er bij de inzet van de dunne fractie of mineralenconcentraat sprake van geen enkele overschrijding. Het beeld verandert echter wanneer mineralenconcentraat wordt aangemerkt als een kunstmeststof en ook als zodanig wordt ingezet (scenario D-1). Qua metalen welke de LAC-2006 waarden overschrijden is de situatie dan gelijk aan de referentievariant zonder de overschrijdingen van arseen (fluviatiele en mariene klei). In het geval van het toepassen van de dikke fractie (scenario H-1) is bij zand ten opzichte van de referentievariant (scenario A-1) sprake van een aanvullende overschrijding van arseen.

Wanneer gekozen wordt om kunstmest in te zetten als alternatief voor dunne varkensmest (scenario B-1) blijkt dat de aan de referentievariant (scenario A-1) gekoppelde overschrijdingen van de LAC-2006 waarden voor koper (zand, mariene klei, fluviatiele klei) en zink (mariene klei) wegvallen. Daarvoor komt een overschrijding van arseen (zand) in de plaats, waardoor voor alle drie de bodemtypen de LAC-2006 waarde voor arseen wordt overschreden. Vervangen van dunne varkensmest door digestaat (scenario F-1) laat qua overschrijding van de LAC-2006 waarden nagenoeg eenzelfde beeld zien als de referentievariant (scenario A-1), met aanvullend een overschrijding van arseen bij zand. Dit zelfde beeld komt terug in het geval zuiveringsslib wordt ingezet als alternatief voor dunne varkensmest (scenario H-1).

Bloembollenteelt

Het gebruik van GFT-compost (scenario K-1) en vaste rundveestalmest (scenario L-1) is de standaard in de bloembollenteelt. In beide gevallen zijn er op korte termijn (0-100 jaar) geen overschrijdingen van de LAC-2006 waarden te verwachten. Op langere termijn is dit beeld compleet anders. Met uitzondering van cadmium worden, in het geval van gebruik van GFT-compost (scenario K-1), voor alle overige metalen overschrijdingen verwacht. Dit in tegenstelling tot scenario L-1 (vaste rundveestalmest), waarbij ook op lange termijn geen overschrijdingen zijn te verwachten.

Opvullen van de huidige grenswaarden voor GFT-compost (zie tabel 2.5) laat met betrekking tot het aantal overschrijdingen welke zijn gekoppeld aan de huidige situatie geen verandering zien (zie scenario M-1 en K-1); in de komende 100 jaar worden geen overschrijdingen van LAC-2006 waarden verwacht. Overschrijdingen op korte termijn worden wel verwacht op basis van de voorstellen voor de nieuwe grenswaarden voor compost (zie tabel 2.6) (scenario M-2). In de eerste 100 jaar wordt een overschrijding van de LAC-2006 waarden voor koper, nikkel en zink verwacht.

De invloed van het voorstel voor de nieuwe grenswaarden voor anorganische meststoffen (zie tabel 2.4) is in het geval van het gebruik van vaste rundveestalmest beperkt tot een enkele overschrijding van de LAC-2006 waarde voor nikkel op de lange termijn (>100 jaar) (scenario L-1 en N-1).

Zuiveringsslib (scenario O-1) kan als alternatief dienen voor GFT-compost en vaste rundveestalmest. Toepassen van zuiveringsslib leidt op lange termijn alleen tot een overschrijding van de LAC-2006 waarde voor koper. Ten opzichte van het gebruik van GFT-compost (scenario K-1) is er sprake van een verbetering in de zin dat het aantal overschrijdingen sterk kan worden terug gebracht. Wanneer het gebruik van zuiveringsslib wordt afgezet tegen de inzet van vaste rundveestalmest is er sprake van een lichte verslechtering. Het gebruik van vaste rundveestalmest (scenario L-1) laat namelijk geen enkele overschrijding zien.

4.3.2 Grondwater

De grondwaterkwaliteit is getoetst aan de streef- en interventiewaarden uit de Circulaire bodemsanering per 1 juli 2013 (2013) (zie Bijlage 40).

Akkerbouw

Van het overzicht van de toetsing van de streef- en interventiewaarden (Bijlage 48) voor de periode 0 tot 100 jaar zijn de volgende (generieke) zaken vermeldenswaardig. Er vindt geen enkele overschrijding van een interventiewaarde plaats. In het geval van mariene klei wordt zelfs geen enkele streefwaarde overschreden. Als er bij zand of fluviatiele klei sprake is van een overschrijding van een streefwaarde vindt deze alleen plaats in het geval van cadmium, chroom, koper en/of zink. Verder wordt bij alle bemestingsscenario's voor zand en fluviatiele klei de streefwaarde voor chroom overschreden.

De voorstellen voor nieuwe grenswaarden voor anorganische meststoffen leiden tot een extra overschrijding van de streefwaarde van cadmium voor fluviatiele klei. Deze komt boven op de overschrijding van chroom welke zich ook al bij de huidige samenstelling van kunstmeststoffen manifesteert. Voor zand leiden de nieuwe grenswaarden niet tot meer overschrijdingen dan er in de huidige situatie al bestaan (zie scenario B-1 en B-2).

In geval van het toepassen van digestaat vindt er bij de huidige samenstelling overschrijding plaats van verschillende streefwaarden (zie scenario F-1). Voor fluviatiele klei gaat het om overschrijdingen van de streefwaarden van chroom en zink. Voor zand komen daar nog overschrijdingen van cadmium en koper bij. Bij het toepassen van digestaat met een samenstelling conform de voorgestelde nieuwe grenswaarden treedt er weinig verandering op in het bovenstaande beeld (zie scenario F-2). Alleen in geval van fluviatiele klei is er sprake van een aanvullende overschrijding van koper.

De inzet van mineralenconcentraat (scenario C-1) of dunne fractie van varkensmest (scenario E-1) als alternatief voor dunne varkensmest (scenario A-1) zorgen ervoor dat de overschrijdingen van koper en zink bij de referentievariant (scenario A-1) vervallen. In plaats daarvan komt er voor zand wel een overschrijding van de streefwaarde van cadmium voor terug. De inzet van mineralenconcentraat als kunstmeststof (scenario D-1) laat dezelfde overschrijdingen zien als bij de referentievariant (scenario A-1). Het gaat om overschrijding van de streefwaarden voor chroom, koper en zink (zand en fluviatiele klei). Ditzelfde geldt overigens ook voor het toepassen van de dikke fractie als vervanger voor dunne varkensmest (scenario H-1).

De inzet van kunstmest in plaats van dunne varkensmest (scenario B-1) leidt tot het wegvallen van de overschrijdingen van de streefwaarde voor koper en zink bij de referentievariant (scenario A-1). Er treedt bij zand echter wel een overschrijding van de streefwaarde voor cadmium op. Dit is hetzelfde beeld bij het toepassen van mineralenconcentraat en de dunne fractie als vervanger voor dunne varkensmest (scenario C-1 en E-1).

Het toepassen van digestaat (scenario F-1) leidt ten opzichte van de referentievariant (scenario A-1) tot een extra overschrijding van cadmium (zand), terwijl bij fluviatiele klei de koperoverschrijding wegvalt. Het voorgaande beeld komt ook naar voren bij het toepassen van zuiveringsslib.

In Bijlage 50 is een samenvatting opgenomen van de toetsing over de periode >100 jaar. Over het algemeen gezien is er ten opzichte van de periode van 0–100 jaar sprake van een hoger aantal én extremere overschrijdingen (waaronder overschrijdingen van de interventiewaarden voor koper en

lood). Daar waar bij de periode van 0–100 jaar enkel overschrijdingen zijn gerapporteerd voor cadmium, chroom, koper en zink, geldt voor de periode >100 jaar dat bij alle metalen overschrijdingen van de streefwaarde voorkomen.

Gezien het feit dat de resultaten van de periode >100 jaar op korte termijn minder relevant zijn, is ervoor gekozen om de invloed van de diverse ontwikkelingen op de grondwaterkwaliteit (voorstellen tot nieuwe grenswaarden van verschillende meststoffen, de inzet van producten van mestverwerking en het toepassen van kunstmest, digestaat en zuiveringsslib als alternatief voor dunne varkensmest) niet verder tekstueel toe te lichten. Kortheidshalve wordt volstaan met een verwijzing naar Bijlage 50.

Bloembollenteelt

Op korte termijn (0-100 jaar) worden alleen overschrijdingen van de streefwaarden verwacht (zie Bijlage 49).

In de scenario's K-1 (huidige samenstelling compost), M-1 (opvullen huidige grenswaarden compost) en M-2 (opvullen voorgestelde nieuwe grenswaarden compost) wordt achtereenvolgens met oplopende metaalgehalten in compost gerekend. Ondanks de oplopende metaalgehalten neemt het aantal overschrijdingen van de streefwaarden niet toe. In alle gevallen is er namelijk sprake van de overschrijding van de streefwaarden voor cadmium, koper, lood en zink. De mate van overschrijding neemt vanzelfsprekend wel toe.

Evenals bij compost leiden de hogere grenswaarden voor anorganische kunstmeststoffen niet tot een toename van het aantal overschrijdingen van de streefwaarden (zie scenario L-1 en N-1). In beide gevallen is er alleen sprake van een overschrijding van de streefwaarde voor cadmium.

De inzet van zuiveringsslib (scenario O-1) als alternatief voor vaste rundveestalmest (scenario L-1) leidt net zoals bij vaste rundveestalmest tot een overschrijding van alleen de streefwaarde van cadmium. Wanneer er echter sprake is van het vervangen van scenario K-1 (inzet van GFT-compost) door scenario O-1 wordt het aantal overschrijdingen van de streefwaarden teruggebracht van vier (cadmium, koper, lood en zink) naar één (cadmium).

De toetsresultaten voor de periode >100 jaar zijn opgenomen in Bijlage 51. Er is sprake van een groter aantal overschrijdingen bij meer metalen. In de periode van 0-100 jaar zijn overschrijdingen gerapporteerd bij cadmium, koper, lood en zink. Op de langere termijn komen daar ook overschrijdingen voor chroom en nikkel bij. Daarnaast is er in tegenstelling tot de periode van 0-100 jaar ook sprake van een groot aantal overschrijdingen van interventiewaarden. Opvallend is dat bij scenario L-1 en O-1 op de langere termijn voor cadmium geen sprake meer is van een overschrijding van de streefwaarde, terwijl dit in de periode van 0-100 jaar wel het geval was. In deze bemestingsscenario's wordt er meer cadmium afgevoerd dan er wordt aangevoerd (release).

De resultaten van de lange termijn (>100 jaar) zijn momenteel minder relevant. Om die reden is ervoor gekozen om de invloed van de diverse ontwikkelingen op de grondwaterkwaliteit (voorstellen tot nieuwe grenswaarden van verschillende meststoffen en de inzet van zuiveringsslib als alternatief voor dunne varkensmest) niet verder tekstueel toe te lichten. Derhalve wordt alleen verwezen naar Bijlage 51.

4.3.3 Oppervlaktewater

De milieukwaliteitsnormen uit het Besluit kwaliteitseisen en monitoring water 2009 (Bkwm 2009) en de onderliggende Regeling monitoring kaderrichtlijn water (Regeling monitoring) (zie Bijlage 41)

zijn gebruikt het vaststellen van de effecten op de oppervlaktewaterkwaliteit. Door het ontbreken van gegevens betreffende de oppervlaktewaterkwaliteit zijn als alternatief de concentraties in het bodemvocht/grondwater getoetst aan bovengenoemde eisen. Dit op basis van de gedachte dat wanneer er in het bodemvocht/grondwater sprake is van verhoogde concentraties ten opzichte van de milieukwaliteitsnormen, dit leidt tot een negatieve beïnvloeding van de oppervlaktewaterkwaliteit.

Akkerbouw

In de periode van 0–100 jaar valt op dat er in het geval van zand bij alle bemestingsscenario's sprake is van een overschrijding van de milieukwaliteitsnormen voor cadmium, koper, lood en zink (zie Bijlage 52). Voor fluviatiele klei geldt voor alle bemestingsscenario's een overschrijding van de milieukwaliteitsnormen voor cadmium, koper en zink. Bij mariene klei is het beeld minder eenduidig, echter bij alle bemestingsscenario's is sprake van een overschrijding van de milieukwaliteitsnorm voor cadmium, koper en/of zink.

De overschrijdingen van de milieukwaliteitsnormen voor de lange termijn (>100 jaar) worden verder niet tekstueel toegelicht en derhalve wordt volstaan met een verwijzing naar Bijlage 54.

Bloembollenteelt

Voor alle bemestingsscenario's is er in de periode van 0–100 jaar sprake van een overschrijding van de milieukwaliteitsnorm voor cadmium, koper, lood en zink (zie Bijlage 53). Op de lange termijn is sprake van een hogere overschrijding van de normen (zie Bijlage 55). Daarnaast wordt voor scenario M-1, M-2 en M-3 aanvullend de milieukwaliteitsnorm voor nikkel overschreden.

5. Discussie en conclusie

5.1 Discussie

5.1.1 Interpretatie van de resultaten

Door verschillende ontwikkelingen wordt het gebruik van andere dan de momenteel gebruikelijke meststoffen en bodemverbeteraars in de Nederlandse akkerbouw en bloembollenteelt mogelijk gemaakt. De introductie van die meststoffen en bodemverbeteraars kan als gevolg van de samenstelling (verhouding tussen nutriënten en zware metalen) leiden tot een verandering van de zware metalen vracht naar de bodem. Om de effecten van deze stoffen op de milieuhygiënische kwaliteit van de bodem, het gewas en het grond- en oppervlaktewater te onderzoeken is gebruik gemaakt van metaalbalansen.

De resultaten van de metaalbalansberekeningen zijn getoetst aan de geldende normen voor de kwaliteit van de bodem en het gewas, het grond- en oppervlaktewater. Hierbij valt op dat de normen onderling kennelijk niet altijd op elkaar zijn afgestemd. Zo vinden er binnen de periode van 0-100 jaar bij de beschouwde bemestingsscenario's van de akkerbouw geen overschrijdingen van de LAC-2006 waarden plaats. De zware metalen toevoer heeft op korte termijn dan ook geen negatieve consequenties voor de gewaskwaliteit en voedselveiligheid. Bij het grondwater is binnen de genoemde periode echter wel sprake van een overschrijding van streefwaarden voor diverse zware metalen. Dit houdt in dat er niet langer sprake is van verwaarloosbare risico's voor het ecosysteem. Het voorgaande voorbeeld toont aan dat er geen sprake is van integraliteit in de normstelling. Dit is dan ook een punt van aandacht.

In het geval van de akkerbouw zijn metaalbalansen voor verschillende bodemtypen bepaald. In de eerste honderd jaar vindt bij mariene klei geen enkele overschrijding van een streef- of interventiewaarde van het grondwater plaats. Dit in tegenstelling tot bij fluviatiele klei en zand. Het verschil wordt verklaard door de bodemeigenschappen van mariene klei. Een hoog lutum- en organische stof gehalte leiden tot een goede binding van zware metalen. Zowel fluviatiele als mariene klei hebben ten opzichte van zand een hoog lutum- en organische stof gehalte. Bij mariene klei komt daarbij nog een hoge pH-waarde (7,05), wat ten opzichte van de relatief lage pH-waarde van fluviatiele klei (5,93) zorgt voor een betere binding van zware metalen in de bodem. Hierdoor vindt er bij de mariene klei de minste uitspoeling plaats, waardoor in de eerste honderd jaar geen overschrijding van de grondwaternormen zijn aangetoond.

Een veel voorkomend bemestingsscenario in de akkerbouw betreft het toepassen van dunne varkensmest als fosfaatbron met aanvullend het toedienen van stikstofkunstmest in de vorm van kalkammonsalpeter (scenario A-1). De dunne varkensmest kan worden vervangen door digestaat (scenario F-1) of zuiveringsslib (scenario G-1). Het wegvallen van de dunne varkensmest zorgt voor lagere gehalten en -concentraties voor koper en zink in bodem, gewas, grond- en oppervlaktewater, waardoor voor koper en zink bepaalde normoverschrijdingen wegvallen. Gezien het feit dat bij andere metalen het aantal normoverschrijdingen voor bodem, grond- en oppervlaktewater toeneemt, wordt gesteld dat het toepassen van digestaat of zuiveringsslib als alternatief voor dunne varkensmest over de gehele linie toch leidt tot een verslechtering. Als er toch een keuze gemaakt moet worden tussen de inzet van digestaat of zuiveringsslib dan komt in een onderlinge vergelijking digestaat toch als beste naar voren. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat de samenstelling van digestaatstromen sterk kan variëren, waardoor uit voorgaande vergelijking ook een ander resultaat naar voren kan komen.

Als gevolg van de mestverwerkingsplicht worden mestverwerkingsproducten zoals dunne en dikke fractie van varkensdrijfmest steeds vaker ingezet als meststof. Het toepassen van de dunne fractie

als alternatief voor dunne varkensmest (scenario E-1) leidt tot het wegvallen van de overschrijding van de LAC-2006 waarden (periode >100 jaar) en/of grondwaternormen voor koper en/of zink. Voor fluviatiele en mariene klei vervalt ook de overschrijding van de LAC-2006 waarde voor arseen. Er treedt een lichte verslechtering op in het geval van cadmium voor het grondwater (zand) en/of oppervlaktewater (fluviatiele klei, mariene klei en zand). De verschuivingen voor arseen en cadmium zijn het gevolg van het toepassen van een kleinere respectievelijk grotere hoeveelheid kalkammonsalpeter en cadmiumhoudende fosfaatkunstmest. De inzet van de dikke fractie (scenario H-1) als alternatief voor dunne varkensmest leidt tot metaalgehalten en –concentraties in bodem, gewas, grond- en oppervlaktewater van dezelfde ordegrootte. Zelfs het aantal normoverschrijdingen is vergeleken met scenario A-1 hetzelfde (de overschrijding van de LAC-2006 waarde voor arseen bij zand uitgezonderd).

Een ander product wat ontstaat bij mestverwerking is mineralenconcentraat. Het streven is om mineralenconcentraat in te zetten als vervanger voor stikstofkunstmest (kalkammonsalpeter) (scenario D-1). Het blijkt dat in dat geval de metaalgehalten en –concentraties in bodem, gewas, grond- en oppervlaktewater nagenoeg niet veranderen. Dit heeft te maken met het feit dat bij beide bemestingsscenario's (A-1 en D-1) het overgrote deel van de metaalvrucht afkomstig is van de dunne varkensmest. De inzet van mineralenconcentraat leidt bij fluviatiele en mariene wel tot het wegvallen van de overschrijding van de LAC-2006 waarde voor arseen (periode >100 jaar). Dit heeft te maken met het wegvallen van kalkammonsalpeter als arseenbron.

Het blijkt dat, in het geval van akkerbouw, de bemestingsscenario's waarbij mineralenconcentraat of dunne fractie van varkensdrijfmest wordt ingezet als fosfaatbron in combinatie met kalkammonsalpeter (scenario C-1 en E-1) het minste aantal normoverschrijdingen opleveren voor de bodem, het gewas, het grond- en oppervlaktewater. Dit is vooral te verklaren doordat in de dunne fracties van de mest slechts een zeer geringe hoeveelheid koper en zink aanwezig is.

In de bloembollenteelt wordt de standaardbemesting gevormd door GFT-compost of vaste rundveestalmest in combinatie met kalkammonsalpeter. Het structureel toepassen van GFT-compost leidt op de lange termijn tot een onaanvaardbare hoge accumulatie van zware metalen in de bodem. Met uitzondering van cadmium worden de LAC-2006 waarden overschreden. Ook vinden overschrijdingen van de grond- en oppervlaktewaternormen voor cadmium, koper, lood en zink plaats, zowel op de korte als de lange termijn. Vaste rundveestalmest blijkt een veel beter alternatief te zijn. Geen van de LAC-2006 waarden wordt overschreden en in het grondwater vindt enkel een overschrijding van de streefwaarde voor cadmium (op korte termijn), koper en zink (op lange termijn) plaats. De overschrijdingen van de oppervlaktewaternormen zijn gelijk aan bij toepassen van GFT-compost, maar de mate van overschrijding van de norm ligt een stuk lager. Het mag op basis van het bovenstaande dan ook duidelijk zijn dat vanuit landbouwkundig en milieuhygiënisch oogpunt gezien het toepassen van vaste rundveestalmest de voorkeur verdient boven GFT-compost. Een ander interessant alternatief voor GFT-compost is het toepassen van zuiveringsslib. Ten opzichte van het toepassen van GFT-compost ligt het aantal en de hoogte van de overschrijdingen een stuk lager.

Voor GFT-compost, kunstmest en digestaat zijn de effecten als gevolg van de voorgestelde ruimere normen van zware metalen doorgerekend. Waar bij de huidige samenstelling van compost (scenario K-1) geen enkele LAC-2006 waarde wordt overschreden in de eerste honderd jaar is dit bij het opvullen van de ruimere normen van compost (scenario M-2) wel het geval voor koper, nikkel en zink. Daarnaast worden in het grondwater hogere concentraties gemeten en is er voor de lange termijn sprake van extra overschrijding van de normen voor chroom (alleen bij grondwater) en nikkel (in grond- en oppervlaktewater). Het effect van de voorgestelde nieuwe normen van kunstmest is bekeken voor de worst case situatie, waarbij zowel stikstof als fosfaat in de vorm van

kunstmest wordt toegediend (scenario B-2). Bij zowel zand, mariene en fluviatiele klei is beeld hetzelfde. Verruiming van de grenswaarden van zware metalen leidt op de lange termijn (>100 jaar) tot een hogere accumulatie voor meer zware metalen. Daar waar voor de huidige samenstelling van kunstmest (scenario B-1) alleen sprake is van accumulatie van arseen tot boven de LAC-2006 waarde geldt dit voor de nieuwe grenswaarden ook voor cadmium (niet bij zand), lood (niet bij zand) en nikkel. Daarnaast neemt ook het aantal en de hoogte van de overschrijdingen van de grond- en oppervlaktewaternormen toe. Het beeld bij de voorgestelde ruimere normen voor digestaat (vergelijking scenario F-1 en F-2) is gelijkaardig aan zoals bovenstaand beschreven bij GFT-compost en kunstmest; het aantal normoverschrijdingen neemt toe, evenals de hoogte van de metaalgehalten en -concentraties. Dit betekent dat de verruiming van de grenswaarden voor GFT-compost, kunstmest en digestaat een verslechtering oplevert voor kwaliteit van de bodem, het gewas en het grond- en oppervlaktewater.

Met het oog op het bovenstaande is het goed te beseffen dat een overschrijding van een (wettelijke) norm bij de inzet van andere meststoffen of bodemverbeteraars niet altijd alleen is gerelateerd aan het gehalte van een component in de meststof of bodemverbeteraar welke ten opzichte van een referentievariant optreedt als vervanger. Het kan namelijk ook zo zijn dat bij het toepassen van een andere meststof of bodemverbeteraar meer kunstmest wordt gedoseerd, waardoor de verhoogde kunstmestdosering (mede) bijdraagt aan de overschrijding van een (wettelijke) norm. Er is enerzijds dan ook sprake van een directe invloed op de overschrijding van de (wettelijke) norm, bestaande uit een meststof of bodemverbeteraar met een hoger gehalte van de beschouwde contaminant. Anderzijds bestaat er een vorm van indirecte beïnvloeding, doordat aanvullend een andere meststof of bodemverbeteraar in hogere mate wordt aangewend om te kunnen voldoen aan de advies- of gebruiksnormen voor stikstof en/of fosfaat. De resultaten van de bemestingsscenario's dienen dan ook altijd primair te worden gezien als een gevolg van het toegepaste bemestingsscenario en niet als de invloed van een meststof of bodemverbeteraar welke ten opzichte van de referentievariant is vervangen. Inzicht in het laatste vergt een verdere analyse welke buiten de scope van dit onderzoek valt.

Uit een gevoeligheidsanalyse is gebleken dat het metaalgehalte in de bodem in de steady state situatie erg gevoelig kan zijn voor zowel positieve als negatieve veranderingen in het metaalgehalte van meststoffen en/of bodemverbeteraars. Onderzoek laat zien dat er in de praktijk sprake is van spreiding van zware metalen gehalten in meststoffen en bodemverbeteraars welke van dierlijke en/of plantaardige oorsprong zijn (Römkens & Rietra, 2008; Vreeburg & Korsuize, 2013). Hierdoor zal het in de praktijk voorkomen dat, wanneer de zware metalen gehalten van een meststof of bodemverbeteraar afwijken van het gemiddelde, dit niet alleen zal resulteren in een ander metaalgehalte in de bodem. Een afwijkend metaalgehalte in de bodem zal tevens leiden tot veranderingen van het metaalgehalte in het gewas en/of de metaalconcentratie in het grondwater. Het is niet ondenkbaar dat dit ook consequenties kan hebben voor het al dan niet overschrijden van bepaalde milieuhygiënische kwaliteitsnormen. De mate waarin dit soort veranderingen optreden verschilt per situatie.

5.1.2 Vergelijking met eerder uitgevoerde onderzoeken

De metaalbalans is in het verleden meermaals gebruikt in diverse onderzoeken. Een aantal van deze onderzoeken is toegelicht in het theoretisch kader (Paragraaf 2.1). Onderstaand wordt voor zover mogelijk een vergelijking gemaakt met de resultaten uit het voorliggende onderzoek. Niet voor alle in de inleiding aangehaalde onderzoeken is een vergelijking gemaakt met het onderliggende onderzoek. Dit heeft te maken met het feit dat de gehanteerde uitgangspunten te veel afwijken van dit onderzoek of zelfs niet beschikbaar zijn, waardoor een vergelijking niet zinvol of mogelijk is.

Groenenberg et al. (2006) hebben een uitgebreide studie uitgevoerd naar de accumulatie van koper in Nederlandse landbouwgronden. Voor akkerbouwgronden welke worden ingezet voor de teelt van mais, tarwe en andere graansoorten, aardappelen, suikerbieten en overige groentesoorten is het kopergehalte in de bodem berekend. De structurele toevoer van koper (zand = $345 \text{ g.ha}^{-1}\text{.jaar}^{-1}$; kalkrijk zand = $256 \text{ g.ha}^{-1}\text{.jaar}^{-1}$; klei (fluviatiele klei) = $239 \text{ g.ha}^{-1}\text{.jaar}^{-1}$; kalkrijke klei (mariene klei) = $295 \text{ g.ha}^{-1}\text{.jaar}^{-1}$) leidt volgens Groenenberg et al. (2006) tot de volgende kopergehalten: zand = 19 en 41 mg.kg^{-1} droge stof (respectievelijk de periode over 100 jaar en de steady state); kalkrijk zand = 15 en 47 mg.kg^{-1} droge stof; klei = 24 en 89 mg.kg^{-1} droge stof; kalkrijke klei = 23 en 138 mg.kg^{-1} droge stof. Voornoemde kopervrachten in combinatie met het metaalbalansmodel van dit onderzoek levert de volgende resultaten op: zand = 14 en 68 mg.kg^{-1} droge stof (respectievelijk de periode over 100 jaar en de steady state); kalkrijk zand = 11 en 48 mg.kg^{-1} droge stof; klei (fluviatiele klei) = 33 en 121 mg.kg^{-1} droge stof; kalkrijke klei (mariene klei) = 22 en 198 mg.kg^{-1} droge stof. De rekenresultaten van het model van dit onderzoek en die van Groenenberg et al. (2006) komen voor het tijdstip $t=100$ jaar goed overeen. Dit geldt ook voor kalkrijk zand voor de steady state situatie. Bij zand, klei en kalkrijke klei voor de steady state is er sprake van grotere afwijkingen. Beide modellen geven voor de steady state echter wel dezelfde trend voor wat betreft de hoogte van het kopergehalte in relatie tot het bodemtype; zand, klei en kalkrijke klei geven achtereenvolgens een oplopend kopergehalte.

De Vries et al. (2004) hebben voor zink een soortelijk gelijke studie uitgevoerd als Groenenberg et al. (2006) voor koper. Bij een aanhoudende aanvoer van zink (zand = $1.039 \text{ g.ha}^{-1}\text{.jaar}^{-1}$; kalkrijk zand = $868 \text{ g.ha}^{-1}\text{.jaar}^{-1}$; klei (fluviatiele klei) = $911 \text{ g.ha}^{-1}\text{.jaar}^{-1}$; kalkrijke klei (mariene klei) = $899 \text{ g.ha}^{-1}\text{.jaar}^{-1}$) zijn de volgende steady state gehalten berekend: 56 mg.kg^{-1} droge stof (zand); 162 mg.kg^{-1} droge stof (kalkrijk zand); 354 mg.kg^{-1} droge stof (klei) en 551 mg.kg^{-1} droge stof (kalkrijke klei). Wanneer de voornoemde zinkvrachten als input dienen voor het metaalbalansmodel wat is gebruikt voor dit onderzoek, geeft dit de volgende uitkomsten: zand = 33 mg.kg^{-1} droge stof; kalkrijk zand = 73 mg.kg^{-1} droge stof; klei (fluviatiele klei) = 170 mg.kg^{-1} droge stof; kalkrijke klei (mariene klei) = 373 mg.kg^{-1} droge stof. Zowel het model van De Vries et al. (2004) als het model wat is gebruikt voor dit onderzoek laten dezelfde trend zien; het zinkgehalte loopt op in volgorde van de bodemtypen zand, kalkrijk zand, klei en kalkrijke klei. Daarnaast hebben De Vries et al. (2004) structureel hogere steady state gehalten berekend.

Voor 19 akkerbouwbedrijven op de zandgronden in Groningen en Drenthe is onderzoek gedaan naar de accumulatie van cadmium, koper, lood en zink (De Vries et al., 2002). Er worden vooral granen verbouwd (de overige gewassen zijn niet gespecificeerd) en bemesting vindt plaats met dierlijke mest en kunstmest (niet verder gespecificeerd). Er is gekeken naar de duur waarna de steady state wordt bereikt: cadmium = 493 jaar (109 – 712 jaar; 5- en 95-percentiel), lood = 1.527 jaar (0 – 2.649 jaar), koper = 1.747 jaar (209 – 4.037 jaar) en zink = 382 jaar (65 – 610 jaar). Deze rekenresultaten zijn bereikt bij de volgende toevoer: cadmium = $3,6 \text{ g.ha}^{-1}\text{.jaar}^{-1}$; lood = $50 \text{ g.ha}^{-1}\text{.jaar}^{-1}$; koper = $362 \text{ g.ha}^{-1}\text{.jaar}^{-1}$ en zink = $710 \text{ g.ha}^{-1}\text{.jaar}^{-1}$. Deze toevoervrachten leveren in combinatie met het metaalbalansmodel van dit onderzoek de volgende resultaten op voor het tijdstip waarop steady state wordt bereikt: cadmium = 650 jaar; lood = 0 jaar; koper = 3.180 jaar en zink = 430 jaar. Deze rekenresultaten vallen binnen de ranges (5 – 95 percentiel) zoals deze zijn gerapporteerd door De Vries et al. (2002).

Guns en Pussemier (2000) hebben voor België voor diverse bodemtypen metaalbalansberekeningen uitgevoerd. Daarbij is gekeken naar de effecten van het toedienen van dierlijke mest en fosfaatkunstmest op het cadmiumgehalte in de bodem en de gewassen. Dit heeft voor België de volgende range in resultaten opgeleverd voor de bodem: $0,023 - 1,379 \text{ mg.kg}^{-1}$ droge stof (steady state). In dit onderzoek zijn voor het bemestingsscenario bestaande uit dunne

varkensmest, kalkammonsalpeter en fosfaatkunstmest (representatief voor de akkerbouw) de volgende gehalten berekend voor de steady state: zand = $0,04 \text{ mg.kg}^{-1}$ droge stof; fluviatiele klei = $0,14 \text{ mg.kg}^{-1}$ droge stof; mariene klei = $0,32 \text{ mg.kg}^{-1}$ droge stof. Deze resultaten vallen binnen de range zoals gevonden door Guns en Pussemier (2000). In het Belgische onderzoek zijn ook berekeningen gemaakt van het cadmiumgehalte in gewassen na een periode van 500 jaar; winter- en zomertarwe = $4,7 - 194,1 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$ vers gewicht ($0,005 - 0,228 \text{ mg.kg}^{-1}$ droge stof), aardappelen = $1,3 - 45,5 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$ vers gewicht ($0,005 - 0,199 \text{ mg.kg}^{-1}$ droge stof). Met het model wat is gebruikt in dit onderzoek zijn op basis van zand, fluviatiele en mariene klei bij het bovengenoemde bemestingsscenario de volgende ranges gevonden: zomertarwe = $0,04 - 0,07 \text{ mg.kg}^{-1}$ droge stof en aardappelen = $0,03 - 0,05 \text{ mg.kg}^{-1}$ droge stof. Deze gehalten passen binnen wat Guns en Pussemier (2000) hebben gerapporteerd.

Op basis van bovenstaande vergelijking met de aangehaalde literatuur blijkt dat de onderzoeksresultaten in lijn zijn met wat eerder is onderzocht. Hierbij dient wel worden opgemerkt dat het een zeer beperkte vergelijking betreft. Dit als gevolg van de beperkte beschikbaarheid van literatuur welke aansluit bij het voorliggende onderzoek.

5.1.3 Beperkingen van het onderzoek

In de literatuur zijn zeer weinig data beschikbaar betreffende zware metalen gehalten in bloembollen. Belder (2011) geeft analyseresultaten voor tulpenbollen. Bij gebrek aan analyseresultaten voor hyacint en narcis zijn hiervoor als alternatief de waarden van tulpenbollen gehanteerd. Waarschijnlijk wordt hierdoor een fout geïntroduceerd, welke geen effect zal hebben op de uiteindelijke resultaten. Het betreffen namelijk alle drie bollen welke dezelfde groeicyclus (planten in het najaar en bloeien in het voorjaar) hebben. Hierdoor ligt het in de lijn der verwachting dat de zware metalen gehalten van hyacint, narcis en tulp van gelijke orde grootte zijn (H. van Reuler, persoonlijke communicatie, 11 september 2014).

Met het gebruikte model is het mogelijk om een metaalbalans op te stellen voor de zware metalen cadmium, chroom, koper, lood, nikkel, zink en arseen. Het opstellen van een metaalbalans voor kwik is niet mogelijk met het gebruikte model. Dit heeft te maken met het feit dat er in de literatuur geen gegevens bekend zijn betreffende de relatie tussen kwik in de bodem en in het bodemvocht. Deze relatie is essentieel voor het model, aangezien mede op basis van de kwikconcentratie in het bodemvocht de uitspoeling van het metaal uit de bouwvoor wordt bepaald.

Met het metaalbalansmodel is het niet mogelijk om de effecten van bemestingsscenario's op de oppervlaktewaterkwaliteit direct door te rekenen. Het compartiment oppervlaktewater maakt immers geen onderdeel uit van het metaalbalansmodel. Als alternatief zijn de berekende zware metalen concentraties van het grondwater getoetst aan de milieukwaliteitsnormen voor zware metalen in landoppervlaktewater. Het idee hierachter is dat, wanneer de concentraties in het grondwater de milieukwaliteitsnormen behorende bij het landoppervlaktewater overschrijden, er per definitie sprake is van een negatieve beïnvloeding van de oppervlaktewaterkwaliteit. Dit zegt echter niets over het al dan niet overschrijden van de milieukwaliteitsnormen door de zware metalen in het oppervlaktewater.

Er heeft een toetsing plaatsgevonden van de modelresultaten aan de bereiken van de datasets welke zijn gebruikt voor het afleiden van modelcoëfficiënten voor het vaststellen van het metaalconcentratie in het grondwater, de bodem-plant relatie (voor cadmium en zink) en de variabele bioconcentratiefactor voor lood. Hieruit is gebleken dat een deel van de modelresultaten in meer of mindere mate buiten het bereik van de datasets valt. Hierdoor kan de geldigheid van het gebruik van de modelcoëfficiënten in het geding komen, waardoor mogelijk onjuiste

modelresultaten worden gegenereerd. Dit speelt vooral bij de modelresultaten van de steady state situatie. Op basis daarvan kan dan ook worden gesteld dat de betrouwbaarheid van de modelresultaten voor de periode van 0-100 jaar hoger is vergeleken met de modelresultaten op de langere termijn. De exacte implicaties van deze discrepanties zijn door het ontbreken van datasets met een voldoende groot bereik niet in te schatten.

Indien bij een bemestingsscenario met concept-grenswaarden voor zware metalen een grenswaarde voor een metaal ontbreekt, is voor het betreffende metaal geen doorrekening van de metaalbalans voor de bouwvoor uitgevoerd. Als alternatief is de concentratie en het gehalte van de metaalbalansberekening van het bovenliggende bemestingsscenario overgenomen. Dit speelt onder meer bij scenario B-2, waarbij voor chroom, koper en zink geen nieuwe grenswaarden zijn voorzien. Dit kan in de toetsing leiden tot een te rooskleurig beeld, aangezien grenswaarden feitelijk ontbreken. In dergelijke gevallen dient het toetsresultaat dan ook worden gezien als de maximaal haalbare situatie. Door het ontbreken van grenswaarden kunnen in de praktijk namelijk hogere concentraties of gehalten voorkomen.

5.2 Conclusie

Het uitgevoerde onderzoek heeft zich gericht op de volgende onderzoeksvraag:

Wat zijn, als gevolg van de inzet van reststromen en mestverwerkingsproducten in de Nederlandse akkerbouw en bloembollenteelt, de korte- en langetermijnontwikkelingen voor de metaalbalansen op perceelsniveau en de daaraan gerelateerde consequenties voor de kwaliteit van de bodem, het gewas en het grond- en oppervlaktewater?

Om de onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden zijn in het onderzoek een aantal deelvragen aan de orde geweest. Onderstaand zijn deze deelvragen van een antwoord voorzien.

1. *Welke reststromen en mestverwerkingsproducten komen, in welke hoeveelheden en samenstelling, in aanmerking voor het inzetten als meststof en/of bodemverbeteraar?*

De in het onderzoek beschouwde reststromen en mestverwerkingsproducten zijn kunstmest, compost, digestaat, zuiveringsslib, dunne fractie van varkensmest, dikke fractie van varkensmest en mineralenconcentraten.

Het jaarlijkse aanbod van compost ($668 \cdot 10^6$ kg) en zuiveringsslib ($1,3 \cdot 10^9$ kg) heeft een dusdanige omvang dat deze stromen een belangrijke rol kunnen spelen als meststof en bodemverbeteraar. Kunstmest wordt op industriële wijze geproduceerd, waarbij in principe de productiecapaciteit wordt afgestemd op de vraag. Digestaat, dunne fractie, dikke fractie en mineralenconcentraten zijn afgeleide producten van dierlijke mest. Gezien de beschikbaarheid van dierlijke mest (jaarlijkse productie betreft $\sim 70 \cdot 10^9$ kg) kunnen genoemde stromen een aanzienlijk aandeel innemen in het totale aanbod van reststromen en mestverwerkingsproducten.

Compost, zuiveringsslib, digestaat en dikke fractie van varkensmest zijn een bron voor zowel de nutriënten stikstof als fosfaat. Dunne fractie van varkensdrijfmest en mineralenconcentraten worden alleen ingezet als stikstofmeststof. Kunstmest kan zowel een bron zijn voor stikstof als fosfaat. Naast deze waardegevende bestanddelen zijn er ook in meer of mindere mate zware metalen aanwezig in de reststromen en mestverwerkingsproducten.

2. *Wat is voor bouwland de gemiddelde jaarlijkse belasting met zware metalen bij het gebruik van reststromen en mestverwerkingsproducten als meststof en/of bodemverbeteraar?*

De inzet van meststoffen en bodemverbeteraars vormt samen met de atmosferische depositie de belangrijkste oorzaak van de toevoer van zware metalen naar de bodem. De gemiddelde belasting per gewasrotatie varieert per bemestingsscenario. In tabel 5.1 is op basis van de in dit onderzoek beschouwde bemestingsscenario's per metaal de range van de belasting opgenomen. Als referentie zijn ook de metaalbelastingen van de in de praktijk meest gangbare bemestingsscenario's opgenomen.

Tabel 5.1: *Range van de gemiddelde metaalbelasting ($\text{g} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jaar}^{-1}$)*

Metaal	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As
Akkerbouw								
Scenario A-1 ¹	1,2	16	604	0,57	21	29	1.464	27
Scenario B-1 ²	4,1	21	28	0,43	20	30	163	49
Minimaal	1,2	13	28	0,38	14	19	163	4,4
Maximaal	19	321	653	4,3	213	455	1.986	63
Bloembollenteelt								
Scenario K-1 ³	9,9	397	912	1,8	223	1.144	3.616	111
Scenario L-1 ⁴	1,5	30	188	0,72	39	92	990	38
Minimaal	1,5	5,1	22	0,72	39	92	92	1,9
Maximaal	29	1.783	3.578	19	955	2.223	10.763	299

¹ dunne varkensmest en kalkammonsalpeter; ² kunstmest P en kalkammonsalpeter; ³ GFT-compost en kalkammonsalpeter;

⁴ vaste rundveestalmest en kalkammonsalpeter

3. *Op welke wijze veranderen de hoeveelheden zware metalen in bodem, gewas, grond- en oppervlaktewater bij het structureel toepassen van reststromen en mestverwerkingsproducten als meststof en/of bodemverbeteraar?*

In dit onderzoek is uitgegaan van een vaste metaaltoevoer vanuit meststoffen en bodemverbeteraars, kalk en atmosferische depositie. Afvoer van metalen uit de bouwvoor vindt plaats als gevolg van opname door planten en uitloging naar het grondwater. Het metaalgehalte in het gewas is gerelateerd aan het metaalgehalte in de bodem of er is sprake van een vaste waarde.

In relatie tot de aan- en afvoer van metalen zijn twee varianten te onderscheiden. In de eerste variant is de aanvoer in eerste instantie groter dan de afvoer. Dit leidt tot een stijging van het metaalgehalte in de bouwvoor (accumulatie). Door het hogere metaalgehalte in de bodem neemt ook de uitloging van het metaal toe. Daarnaast stijgt de afvoer van het metaal via de opname door het gewas (mits er geen sprake is van een vast metaalgehalte). Uiteindelijk ontstaat er een balans tussen de aan- en afvoer van het metaal, waardoor het metaalgehalte in de bodem niet meer verandert (steady state). Hetzelfde geldt voor de metaalconcentratie in het grondwater en het metaalgehalte in het gewas. Bij de tweede variant is de afvoer van het metaal in eerste instantie groter dan de aanvoer. Dit leidt tot een daling van het metaalgehalte in de bouwvoor (release). Een verlaging van het metaalgehalte in de bodem leidt tot een verminderde metaalafvoer via uitloging en de oogst van gewassen (indien geen sprake is van een vast metaalgehalte). Hierdoor ontstaat er op termijn een evenwicht tussen de aan- en afvoer van het metaal. Het gehalte in de bouwvoor blijft dan constant, waardoor ook de metaalconcentratie in het grondwater en het metaalgehalte in het gewas niet meer veranderen.

De combinatie van het metaal, het bodemtype, het metaalgehalte in de bodem, de gewassen in het bouwplan, het neerslagoverschot en de metaalvrucht welke op de bodem wordt aangevoerd

bepaalt of er sprake is van accumulatie of release. Genoemde factoren zijn eveneens bepalend voor de optredende dynamiek in de metaalgehalten/concentraties van de bodem, het gewas en het grondwater.

In dit onderzoek is er van uit gegaan dat een deel van het grondwater kan afstromen naar het oppervlaktewater. De richting van de verandering (verhoging of verlaging) van de metaalconcentratie in het oppervlaktewater is daarmee gekoppeld aan de richting van de verandering van de metaalconcentratie in het grondwater.

4. *Leidt het structureel toepassen van reststromen en mestverwerkingsproducten als meststof en/of bodemverbeteraar tot overschrijding van (wettelijke) normen van zware metalen voor de bodem, het gewas en het grond- en oppervlaktewater?*

Voor de akkerbouwgewassen wordt in de periode van 0–100 jaar geen LAC-2006 waarde overschreden. Voor de lange termijn (>100 jaar) laten (op twee na) alle bemestingsscenario's overschrijdingen van één of meerdere LAC-2006 waarden zien. In dergelijke gevallen kan er dan ook sprake zijn van nadelige effecten voor de opbrengst en kwaliteit van de gewassen en de gezondheid van mens en dier. Bij het gebruik van mineralenconcentraat of dunne fractie van varkensdrijfmest als enige bron voor fosfaat worden geen overschrijdingen van de LAC-2006 waarden verwacht.

In het geval van de bloembollenteelt worden overschrijdingen van de LAC-2006 waarden verwacht in de periode van 0–100 jaar. Dat is echter alleen het geval wanneer opvulling plaatsvindt van de voorgestelde nieuwe grenswaarden voor zware metalen bij compost. Voor de langere termijn wordt alleen voor het bemestingsscenario met vaste rundveestalmest als enige fosfaatbron geen overschrijding voorzien. Bij alle andere bemestingsscenario's dient rekening worden gehouden met één of meer overschrijdingen van LAC-2006 waarden.

De grondwaterkwaliteit is vastgesteld door het toetsen van de berekende concentraties aan de streef- en interventiewaarden uit de Circulaire bodemsanering per 1 juli 2013 (2013). In het geval van akkerbouw wordt er bij mariene klei in de periode van 0–100 jaar geen enkele streefwaarde overschreden. Bij zand en fluviatiele klei is er wel sprake van overschrijdingen van streefwaarden. Voor de langere termijn neemt het aantal overschrijdingen toe. Tegelijkertijd zijn de overschrijdingen extremer. Er zijn namelijk ook overschrijdingen van de interventiewaarden voor koper en zink te verwachten, waardoor er sprake kan zijn van een ernstige vermindering van de functionele eigenschappen die de bodem heeft voor mens, dier en plant. Het gebruik van kunstmest, mineralenconcentraat van varkensdrijfmest of dunne fractie van varkensdrijfmest als enige fosfaatbron laat bij mariene klei, zowel op de korte als lange termijn, geen overschrijding van de streef- of interventiewaarden zien.

Op korte termijn worden bij de bloembollenteelt voor alle bemestingsscenario's één of meer overschrijdingen van de streefwaarden van cadmium, koper, lood en/of zink vastgesteld. Op langere termijn is er met uitzondering van het bemestingsscenario waarbij vaste rundveestalmest wordt toegepast sprake van een overschrijding van één of meerdere interventiewaarden.

De metaalconcentraties in het grondwater zijn getoetst aan de milieukwaliteitsnormen voor het oppervlaktewater. Een overschrijding van een milieukwaliteitsnorm dient te worden geïnterpreteerd als zijnde een negatieve invloed op het bereiken van de gewenste oppervlaktewaterkwaliteit. Dit zegt echter niets over het al dan niet overschrijden van de milieukwaliteitsnormen door de zware metalen in het oppervlaktewater. Bij akkerbouw vindt voor zand, mariene klei en fluviatiele klei in de periode van 0–100 jaar bij alle

bemestingsscenario's een overschrijding van de milieukwaliteitsnormen voor cadmium, koper, lood en/of zink plaats. Voor de langere termijn komen daar voor enkele bemestingsscenario's bij zand en fluviatiele klei ook nog overschrijdingen voor de norm van nikkel bij. Voor wat betreft alle bemestingsscenario's bij de bloembollenteelt is er in de periode van 0–100 jaar sprake een overschrijding van de milieukwaliteitsnorm voor cadmium, koper, lood en zink. Op de langere termijn is er sprake van een hogere overschrijding van de normen. Aanvullend worden voor de bemestingsscenario's welke bestaan uit het opvullen van de huidige en nieuwe grenswaarden voor zware metalen in compost overschrijdingen voor nikkel verwacht.

5. *Binnen welke termijn wordt een eventuele overschrijding van de (wettelijke) normen verwacht?*

De overschrijding van de (wettelijke) normen vindt plaats op verschillende momenten. Er is een onderscheid gemaakt tussen de korte (<100 jaar) en lange termijn (>100 jaar). Bij de bemestingsscenario's in de akkerbouw en de bloembollenteelt worden overschrijdingen van de LAC-2006 waarden pas op de langere termijn voorzien. Een uitzondering hier op vormen de bemestingsscenario's met de concept-normen voor compost in de bloembollenteelt.

De streefwaarden voor de grondwaterkwaliteit worden zowel voor bemestingsscenario's van de akkerbouw als de bloembollenteelt op korte termijn al overschreden. Een uitzondering hierop wordt gevormd door mariene klei, waarbij geen enkele overschrijding is waargenomen. Overschrijdingen van de interventiewaarden zijn pas op de langere termijn aan de orde.

Een negatieve beïnvloeding van de oppervlaktewaterkwaliteit door cadmium, koper, lood en/of zink vanuit het grondwater is op korte termijn bij zowel de akkerbouw als de bloembollenteelt te verwachten. Op de langere termijn komt daar in het geval van (kalkrijk) zand en fluviatiele klei ook nog de negatieve invloed van nikkel bij.

De conclusie van het onderzoek is dat inzet van reststromen en mestverwerkingsproducten in de Nederlandse akkerbouw en bloembollenteelt op termijn kan resulteren in een verandering van de metaalconcentraties/-gehalten in de bodem, het gewas en het grond- en/of oppervlaktewater. In het geval er sprake is van verhoogde metaalconcentraties en/of -gehalten kan dit leiden tot negatieve effecten op de kwaliteit van de bodem, het gewas en het grond- en/of oppervlaktewater. Welke effecten optreden, en binnen wat voor termijn, is afhankelijk van het bemestingsscenario en het bodemtype.

Voor de akkerbouw is de inzet van dunne varkensmest als fosfaatbron als standaard gehanteerd. Vervanging van dunne varkensmest door digestaat of zuiveringsslib leidt tot een verslechtering van de kwaliteit van de bodem, het gewas, het grond- en/of oppervlaktewater. De inzet van de dikke fractie van varkensmest als alternatief voor dunne varkensmest heeft nagenoeg geen consequenties voor de metaalgehalten en -concentraties. Duidelijk betere alternatieven voor dunne varkensmest zijn de inzet van mineralenconcentraat en dunne fractie van varkensmest.

GFT-compost en vaste rundveestalmest worden bij de bollenteelt gebruikt als bron voor fosfaat. In relatie tot de milieuhygiënische kwaliteit voor zware metalen is vaste rundveestalmest superieur. Een goed alternatief voor GFT-compost is zuiveringsslib.

De voorgestelde concept-grenswaarden voor GFT-compost, kunstmest en digestaat leiden ten opzichte van de huidige situatie duidelijk tot een verslechtering van de kwaliteit van de bodem, het gewas en het grond- en/of oppervlaktewater.

5.3 Aanbevelingen voor verder onderzoek

In dit onderzoek is geconstateerd dat de normen van zware metalen voor de kwaliteit van de bodem, het gewas en het grond- en oppervlaktewater niet altijd goed op elkaar zijn afgestemd. Dit kan er toe leiden dat inzet van een meststof of bodemverbeteraar niet leidt tot een overschrijding van een norm voor de bodem (LAC-2006 waarde), maar tegelijkertijd wel zorgt voor een overschrijding van een norm voor het grondwater. Daarnaast komt het voor dat op korte termijn geen sprake is van een overschrijding van een LAC-2006 waarde, maar op langere termijn wel. Vanuit milieuhygiënisch oogpunt is het dan ook zinvol om een studie uit te voeren naar de maximale hoogte van de grenswaarden van zware metalen, waardoor, bij het gebruik van meststoffen en bodemverbeteraars, zowel op de korte als lange termijn wordt voldaan aan de normen van het betreffende zware metaal voor de bodem, het gewas en het grond- en oppervlaktewater.

Het voorliggende onderzoek heeft zich gericht op de akkerbouw en bloembollenteelt in Nederland. Een andere belangrijke sector in Nederland is de tuinbouw in de vorm van de teelt van vollegrondsgroenten. Ook de percelen van deze teelten worden in de toekomst mogelijk zwaarder belast met zware metalen. Het lijkt op basis van de resultaten van dit onderzoek zinvol om onder meer door middel van een metaalbalansbenadering onderzoek uit te voeren naar de relatie tussen de toevoer van zware metalen en de voedselveiligheid van vollegrondsgroenten.

Literatuur

- Agentschap NL. (2010). *Naar een betere toepassing van digestaat*. Geraadpleegd via <http://groengas.nl/wp-content/uploads/2013/01/2010-06-00-Naar-een-betere-toepassing-van-digestaat-AgNL.pdf>
- Belder, P. (2011). *Toelatingsonderzoek restmaterialen bollenteelt voor co-vergisting*. Geraadpleegd via <http://edepot.wur.nl/294182>
- Besluit gebruik meststoffen. Geraadpleegd op 23 juli 2014 via http://wetten.overheid.nl/BWBR0009066/geldigheidsdatum_23-07-2014
- Besluit kwaliteitseisen en monitoring water 2009. Geraadpleegd op 28 augustus 2014 via http://wetten.overheid.nl/BWBR0027061/geldigheidsdatum_28-08-2014
- Bokhorst, J., Van Leeuwen, Y., & Ter Berg, C. (2008). *Bodem en bemesting in de bollenteelt*. Geraadpleegd via <http://edepot.wur.nl/116081>
- Burgers, R. (18-5-2011). *Ideale stikstofboost voor 't gewas*. Geraadpleegd op 29 juli 2014 via <http://www.akkerwijzer.nl/nieuws/312/--ideale-stikstofboost-voor--t-gewas->
- CBS, PBL, & Wageningen UR. (14 oktober 2014). *Land- en tuinbouw: ruimtelijke spreiding, grondgebruik en aantal bedrijven, 1980-2013*. Geraadpleegd op 23 november 2014 via <http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl2119-Agrarisch-grondgebruik.html?i=11-61>
- Centraal Bureau voor de Statistiek. (2013a). *Dierlijke mest en mineralen 2012*. Geraadpleegd via <http://www.cbs.nl/nl-NL/menu/themas/natuur-milieu/publicaties/publicaties/archief/2013/2013-c72-pub.htm>
- Centraal Bureau voor de Statistiek. (2013b). *Zuivering van stedelijk afvalwater; afzet van zuiveringsslib*. Geraadpleegd op 8 maart 2014 via <http://statline.cbs.nl/StatWeb/publication/?VW=T&DM=SLNL&PA=70156ned&LA=NL>
- Centre for Strategy & Evaluation Services. (2010). *Evaluation of Regulation (EC) 2003/2003 relating to Fertilisers* (Final report). Geraadpleegd via http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/files/fertilizers/final_report_2010_en.pdf
- Chen, W., Chang, A.C., & Wu, L. (2007). Assessing long-term environmental risks of trace elements in phosphate fertilizers. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 67, 48-58. doi:10.1016/j.ecoenv.2006.12.013
- Circulaire bodemsanering per 1 juli 2013. (2013). Geraadpleegd via <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2013-16675.html>
- Commissie van de Europese Gemeenschappen. (2005). *Werk maken van duurzaam hulpbronnengebruik : een thematische strategie inzake afvalpreventie en afvalrecycling* (COM(2005) 666 definitief). Geraadpleegd via <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2005:0666:FIN:NL:PDF>
- De Haan, J.J., & Van Geel, W. (2013). *Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentengewassen*. Geraadpleegd via http://www.kennisakker.nl/files/Boekpagina/Adviesbasis_mrt_2013.pdf

- De Hoop, J., Bunte, F., Blokland, P.W., Van Kernebeek, H., Vrolijk, H., Luesink, H., & De Koeijer, T. (2011). *Economische analyse van de mestmarkt: Opties voor het stimuleren van innovaties* (LEI-rapport 2011-046). Geraadpleegd via <http://edepot.wur.nl/184377>
- De Poorter, L.R.M., Van Beelen, P., Struijs, J., Van der Linden, A.M.A., Ehlert, P.A.I., & Posthuma, L. (2013). *Alternatieve systematiek voor de beoordeling van covergistingsmaterialen: 2. Residuen van gewasbeschermingsmiddelen* (WOt-werkdocument 359). Geraadpleegd via <http://edepot.wur.nl/292691>
- De Vries, W., Römkens, P.F.A.M., Van Leeuwen, T., & Bronswijk, J.J.B. (2002). Heavy Metals. In P.M. Haygarth, & S.C. Jarvis (Eds.), *Agriculture, Hydrology and Water Quality* (pp. 107 – 132). London, England: CABI Publishing. Geraadpleegd via <http://blogtiengviet.net/media/users/tamthanh27/tailieu/cbaebook/AgricultureHydrologyandWaterQuality.pdf>
- De Vries, W., Römkens, P.F.A.M., & Voogd, J.C.H. (2004). *Prediction of the long term accumulation and leaching of zinc in Dutch agricultural soils: a risk assessment study* (Alterra-rapport 1030). Geraadpleegd via <http://edepot.wur.nl/41912>
- De Vries, W., Römkens, P.F.A.M., Bonten, L.T.C., Rietra, R.P.J.J., Ma, W.C., & Faber, J.H. (2008). *De invloed van bodemeigenschappen op kritische gehalten voor zware metalen en organische microverontreinigingen in de bodem* (Alterra-rapport 817). Geraadpleegd via <http://edepot.wur.nl/222980>
- De Wit, J. (2013). *Bedrijfseconomische effecten van verhoging van het bodemorganischstofgehalte: compostgebruik in de akkerbouw* (Publicatienummer 2013-005 LbD). Geraadpleegd via <http://www.louisbolk.org/downloads/2753.pdf>
- Driessen, J.J.M., & Roos, A.H. (1996). *Zware metalen, organische microverontreinigingen en nutriënten in dierlijke mest, compost, zuiveringsslib, grond en kunstmeststoffen* (Rapport 96.14). Geraadpleegd via <http://edepot.wur.nl/259392>
- Ehlert, P.A.I., & Hoeksma, P. (2011). *Landbouwkundige en milieukundige perspectieven van mineralenconcentraten: Deskstudie in het kader van de Pilot Mineralenconcentraten* (Alterra-rapport 2185). Geraadpleegd via <http://edepot.wur.nl/178675>
- Ehlert, P.A.I., Posthuma, L., Römkens, P.F.A.M., Rietra, R.P.J.J., Wintersen, A.M., Van Wijnen, H.,...Groenenberg, J.E. (2013). *Appraising fertilisers: Origins of current regulations and standards for contaminants in fertilisers: Background of quality standards in the Netherlands, Denmark, Germany, United Kingdom and Flanders* (WOt-werkdocument 336). Geraadpleegd via <http://edepot.wur.nl/262256>
- Ehlert, P.A.I., Van Schöll, L., & Van Dijk, T.A. (2013). *Alternatieve systematiek voor de beoordeling van covergistingsmaterialen: 1. Toetsing van contaminanten aangewezen door de Meststoffenwet* (WOt-werkdocument 358). Geraadpleegd via <http://edepot.wur.nl/292690>
- European Commission. (2014). *Essential safety and quality requirements for fertilising materials*. Geraadpleegd op 15 maart 2014 via <http://ec.europa.eu/transparency/regexpert/index.cfm?do=groupDetail.groupDetailDoc&id=12426&no=9>

- Europese Unie. (2003). *Verordening (EG) nr. 2003/2003 van het Europees Parlement en de Raad van 13 oktober 2003 inzake meststoffen* (Publicatieblad van de Europese Unie L 304). Geraadpleegd via <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:304:0001:0194:NL:PDF>
- Europese Unie. (2008). *Richtlijn 2008/98/EG van het Europees Parlement en de Raad van 19 november 2008 betreffende afvalstoffen en tot intrekking van een aantal richtlijnen* (Publicatieblad van de Europese Unie L 312). Geraadpleegd via <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:312:0003:0030:NL:PDF>
- Groenenberg, J.E., Römkens, P.F.A.M., Comans, R.N.J., Luster, J., Pampura, T., Shotbolt, L.,...De Vries, W. (2010). Transfer functions for solid-solution partitioning of cadmium, copper, nickel, lead and zinc in soils: derivation of relationships for free metal ion activities and validation with independent data. *European Journal of Soil Science*, 61, 58-73. doi: 10.1111/j.1365-2389.2009.01201.x
- Groenenberg, J.E., Römkens, P.F.A.M., & De Vries, W. (2006). *Prediction of the long term accumulation and leaching of copper in Dutch agricultural soils: a risk assessment study* (Alterra-rapport 1278).
- Guns, M., & Pussemier, L. (2000). *Risk Assessment to Health and the Environment from Cadmium in Fertilisers: Scientific report by Belgium*. Geraadpleegd via http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/files/reports/belgium_en.pdf
- Helpdesk Water (z.j.). *Handboek Water: Besluit kwaliteitseisen en monitoring water 2009*. Geraadpleegd op 28 augustus 2014 via <http://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/wetgeving-beleid/handboek-water-0/wetgeving/waterwet/besluiten-regelingen/besluit-0/>
- Hoeksma, P., De Buissonjé, F.E., Ehlert, P.A.I., & Horrevorts, J.H. (2011). *Mineraalconcentraten uit dierlijke mest: Monitoring in het kader van de pilot mineralenconcentraten* (Rapport 481). Geraadpleegd via <http://edepot.wur.nl/177153>
- Instituut voor de Rationele Suikerproductie. (2001). *Jaarverslag 2000*. Geraadpleegd via <http://www.irs.nl/userfiles/ccmsupload/ccmsalg/Jaarverslag%202000.pdf>
- Instituut voor de Rationele Suikerproductie. (2004). *Jaarverslag 2003*. Geraadpleegd via <http://www.irs.nl/userfiles/ccmsupload/ccmsalg/Jaarverslag%202003.pdf>
- Keller, A., & Schulin, R. (2003). Modelling regional-scale mass balances of phosphorus, cadmium and zinc fluxes on arable and dairy farms. *European Journal of Agronomy*, 20, 181-189. doi:10.1016/S1161-0301(03)00075-3
- Kool, A. (2006). *Co-vergisting De Marke*. Geraadpleegd via <http://edepot.wur.nl/61629>
- Kool, A., & Bosker, T. (z.j.). *Ongewenste stoffen met co-vergisting: Een verkenning naar risico's op contaminatie met zware metalen en microverontreinigingen*. Geraadpleegd via <http://www.digestaat.nl/DR6%20clm%20covergisting.pdf>
- Masterplan Mineralenmanagement. (2013). *Wijzer met mineralen: Nieuwe mest, oude kracht*. Geraadpleegd via <http://www.kennisakker.nl/files/Pagina/NieuweMestOudeKracht.pdf>

- Mennen, M.G., Van Pul, W.A.J., Nguyen, P.L., Hogendoorn, E.A., Van Putten, E.M., Boshuis-Hilverdink, M.E., & De Groot, G.M. (2010). *Emissies en verspreiding van zware metalen* (RIVM Rapport 609100004/2010). Geraadpleegd via http://www.rivm.nl/dsresource?objectid=rivmp:16833&type=org&disposition=inlinene&ns_nc=1
- Meststoffenwet. Geraadpleegd op 23 juli 2014 via http://wetten.overheid.nl/BWBR0004054/geldigheidsdatum_23-07-2014
- Milieu Ltd, WRC, & RPA. (2008). *Environmental, economic and social impacts of the use of sewage sludge on land: Final Report Part I: Overview Report*. Geraadpleegd via http://ec.europa.eu/environment/waste/sludge/pdf/part_i_report.pdf
- Mol, G., Spijker, J., Van Gaans, P., & Römkens, P. (Red.). (2012). *Geochemische bodematlas van Nederland*. Geraadpleegd via http://www.wageningenacademic.com/_clientFiles/download/geo-e.pdf
- Møller, H.B., Jensen, H.S., Tobiasen, L., & Hansen, M.N. (2007). Heavy Metal and Phosphorus Content of Fractions from Manure Treatment and Incineration. *Environmental Technology*, 28, 1403-1418. Geraadpleegd via http://p9003-sfx.unimaas.nl.ezproxy.elib10.ub.unimaas.nl/sfx_local?sid=google&auinit=HB&aulast=M%E2%8A%98+ller&atitle=Heavy+metal+and+phosphorus+content+of+fractions+from+manure+treatment+and+incineration&id=doi:10.1080/09593332808618900&title=Environmental+technology&volume=28&issue=12&date=2007&spage=1403&issn=0959-3330
- Moolenaar, S.W. (1998). *Sustainable Management of Heavy Metals in Agro-ecosystems* (Doctoral dissertation, Landbouwwuniversiteit Wageningen, The Netherlands). Geraadpleegd via <http://edepot.wur.nl/210283>
- Nicholson, F.A., Chambers, B.J., Williams, J.R., & Unwin, R.J. (1999). Heavy metal contents of livestock feeds and animal manure in England and Wales. *Bioresource Technology*, 70, 23-31. Geraadpleegd via http://ac.els-cdn.com.ezproxy.elib10.ub.unimaas.nl/S0960852499000176/1-s2.0-S0960852499000176-main.pdf?_tid=a3386238-f883-11e3-af76-00000aab0f26&acdnat=1403273181_06ad7e1a6cf1fc98f82db5ff90845c48
- Nicholson, F.A., Smith, S.R., Alloway, B.J., Carlton-Smith, C., & Chambers, B.J. (2003). An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. *The Science of the Total Environment*, 311, 205-219. doi: 10.1016/S0048-9697(03)00139-6
- Nziguheba, G., & Smolders, E. (2008). Inputs of trace elements in agricultural soils via phosphate fertilizers in European countries. *Science of the total Environment*, 390, p. 53-57. doi:10.1016/j.scitotenv.2007.09.031
- Otte, P.F., Römkens, P.F.A.M., Rietra, R.P.J.J., & Lijzen, J.P.A. (2011). *Bodemverontreiniging en de opname van lood door moestuingewassen* (RIVM rapport 607711004/2011). Geraadpleegd via http://www.rivm.nl/Documenten_en_publicaties/Wetenschappelijk/Rapporten/2012/mei/Bodemverontreiniging_en_de_opname_van_lood_in_moestuingewassen_Risico_s_van_lood_door_bodemverontreiniging

- Regeling monitoring kaderrichtlijn water. Geraadpleegd op 28 augustus 2014 via http://wetten.overheid.nl/BWBR0027502/geldigheidsdatum_28-08-2014
- Remy, C., & Ruhland, A. (2006). *Ecological Assessment of alternative sanitation concepts with Life Cycle Assessment*. Geraadpleegd via http://www.kompetenzwasser.de/fileadmin/user_upload/pdf/forschung/scst/SCST_LCA_Final_Report_Task_5__TUB__Remy_22.8.2007_.pdf
- Rombouts, G., & Reyns, K. (2014). *Praktijkgids Bemesting*. Geraadpleegd via <http://lv.vlaanderen.be/nlapps/data/docattachments/praktijkgids-bemesting.pdf>
- Römkens, P.F.A.M., Groenenberg, J.E., Bonten, L.T.C., De Vries, W., & Bril, J. (2004). *Derivation of partition relationships to calculate Cd, Cu, Ni, Pb and Zn solubility and activity in soil solutions* (Alterra-report 305). Geraadpleegd via <http://edepot.wur.nl/16988>
- Römkens, P.F.A.M., Groenenberg, J.E., Rietra, R.P.J.J., & De Vries, W. (2007). *Onderbouwing LAC-2006 waarden en overzicht van bodem-plant relaties ten behoeve van de Risicotoolbox: Een overzicht van gebruikte data en toegepaste methoden* (Alterra-rapport 1442). Geraadpleegd via <http://library.wur.nl/way/bestanden/clc/1867469.pdf>
- Römkens, P.F.A.M., & Rietra, R.P.J.J. (2008). *Zware metalen en nutriënten in dierlijke mest in 2008: Gehalten aan Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, As, N en P in runder-, varkens- en kippenmest* (Alterra-rapport 1729). Geraadpleegd via <http://edepot.wur.nl/2536>
- Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (z.j. a). *Hoe werkt u met gebruiksnormen?* Geraadpleegd op 12 april 2014 via <https://www.drloket.nl/onderwerpen/mest/dossiers/dossier/gebruiksruimte-en-gebruiksnormen/gebruiksnormen/hoe-werkt-u-met-gebruiksnormen>
- Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (z.j. b). *Regels voor gebruik digestaat als meststof*. Geraadpleegd op 12 maart 2014 via <https://www.drloket.nl/onderwerpen/mest/dossiers/dossier/mestbewerking/co-vergisting/regels-voor-gebruik-digestaat-als-meststof>
- Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (z.j. c). *Derogatie*. Geraadpleegd op 18 september 2014 via <https://mijn.rvo.nl/derogatie>
- Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (z.j. d). *Mestbeleid 2014*. Geraadpleegd op 11 juli 2014 via <https://mijn.rvo.nl/mestbeleid-2014>
- Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (z.j. e). *Onderzoek mineralenconcentraat*. Geraadpleegd op 17 augustus 2014 via <https://mijn.rvo.nl/onderzoek-mineralenconcentraat>
- Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (z.j. f). *Mestverwerkingsplicht voor de landbouwer*. Geraadpleegd op 24 oktober 2014 via <https://mijn.rvo.nl/mestverwerkingsplicht-landbouwer>
- Saveyn, H., & Eder, P. (2014). *End-of-waste criteria for biodegradable waste subjected to biological treatment (compost & digestate): Technical proposals* (Report EUR 26425 EN). Geraadpleegd via <http://ipts.jrc.ec.europa.eu/publications/pub.cfm?id=6869>

- Schoumans, O.F., Ehlert, P.A.I., Rulkens, W.H., & Oenema, O. (2012). *Afzetmogelijkheden van de dunne fractie van varkensdrijfmest na mestscheiding* (Alterra-rapport 2331). Geraadpleegd via <http://edepot.wur.nl/214138>
- Smolders, E., Jansson, G., Van Laer, L., Ruttens, A., Van Gronsveld, J., Römkens, P.,... Bries, J. (2007). *Teeltadvies voor de landbouw in het kader van het Interreg project BeNeKempen*. Geraadpleegd via http://www.ovam.be/sites/default/files/ovor080623_Benekempen_landbouw_teeltadvies.pdf
- Spore. (2013). *Champost als bouw materiaal*. Geraadpleegd via <http://edepot.wur.nl/282161>
- Technische commissie bodembescherming. (2002). *Advies Herziening LAC-signaalwaarden* (TCB A32). Geraadpleegd via <http://www.tcbodem.nl/files/a32%202002%20advies%20herziening%20lac%20signaalwaarden.pdf>
- Technische commissie bodem. (2012). *Advies Contaminanten en pathogenen in meststoffen* (TCB A079). Geraadpleegd via <http://www.tcbodem.nl/files/a0792012%20advies%20contaminanten%20en%20pathogenen%20in%20meststoffen.pdf>
- TNO, Deltares, & PBL. (2013). *Atmosferische Depositie op Nederland en Nederlands Continentaal Plat*. Geraadpleegd via <http://www.emissieregistratie.nl/ERPUBLIEK/documenten/Water/Factsheets/Nederlands/Atmosferische%20Depositie%20op%20Nederland%20en%20NCP.pdf>
- Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet. Geraadpleegd op 23 juli 2014 via http://wetten.overheid.nl/BWBR0019031/geldigheidsdatum_23-07-2014
- Uitvoeringsregeling Meststoffenwet. Geraadpleegd op 23 juli 2014 via http://wetten.overheid.nl/BWBR0018989/geldigheidsdatum_23-07-2014
- Van Dam, A.M., & Van Reuler, H. (2013). *Adviesbasis voor de bemesting van bloembolgewassen*. Geraadpleegd via <http://www.kavb.nl/uploads/Adviesbasis%20bemesting%20bolgewassen%202013.pdf>
- Van der Voort, M., Van der Klooster, A., Van der Wekken, J., Kemp, H., & Dekker, P. (2006). *Covergisting van gewasresten: Een verkennende studie naar praktische en economische haalbaarheid* (PPO nr. 530030). Geraadpleegd via http://documents.plant.wur.nl/ppo/agv/covergisting_gewasresten.pdf
- Van Dijk, W., Spruijt, J., Runia, W., & Van Geel, W. (2012). *Verruiming vruchtwisseling in relatie tot mineralenbenutting, bodemkwaliteit en bedrijfseconomie op akkerbouwbedrijven* (PPO nr. 527). Geraadpleegd via http://www.kennisakker.nl/files/Kennisdocument/Rapport_Verruiming_Vruchtwisseling.pdf
- Van Dijk Management Consultants, Arcadia International, & BiPRO. (2012). *Study on options to fully harmonise the EU legislation on fertilizing materials including technical feasibility, environmental, economic and social impacts* (Final Report). Geraadpleegd via http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/documents/specific-chemicals/fertilisers/index_en.htm#h2-2

- Van Geel, W., & Van Dijk, W. (2013). *Toepassing van digestaat in de landbouw: bemestende waarde en risico's* (PPO nr. 565). Geraadpleegd via <http://edepot.wur.nl/280427>
- Van Wezel, A.P., De Vries, W., Beek, M., Otte, P.F.M., Lijzen, J.P.A., Mesman, M.,... Bonten, L. (2003). *Bodemgebruikswaarden voor landbouw, natuur en waterbodan: Technisch wetenschappelijke afleiding van getalswaarden* (RIVM rapport 711701031/2003). Geraadpleegd via <http://rivm.openrepository.com/rivm/bitstream/10029/9064/1/711701031.pdf>
- Vereniging Afvalbedrijven (2012). *Meer waarde uit gft-afval: jaarverslag 2011*. Geraadpleegd via http://www.verenigingafvalbedrijven.nl/fileadmin/user_upload/Documenten/PDF2013/VA_Meer_waarde_uit_gft-afval_Jaarverslag_Afdeling_Bioconversie.pdf
- Verlinden, G. (2005). *Valorisatie van resteffluenten afkomstig van de mestverwerking: Deel 2: Chemische samenstelling van de resteffluenten*. Geraadpleegd via <http://www.vlm.be/SiteCollectionDocuments/Mestbank/Studies/Eindrapport%20Deel%20Screening.PDF>
- Vreeburg, P., & Korsuize, A. (2013). *Organische bemesting van hyacint; Kan stalmest bij hyacint vervangen worden door GFT-compost?* (PPO Publicatienr. 3236049100/3236097200). Geraadpleegd via <http://edepot.wur.nl/292225>
- Westhoek, H.J., Beijer, L., Bruins, W.J., Hotsma, P.H., Janssen, J.W.M., & Maathuis, E.J.R. (1996). *Aan- en afvoerbalansen van zware metalen van Nederlandse landbouwgronden* (Informatie- en KennisCentrum Landbouw Rapportnummer 28).

Verklarende woordenlijst

Adviesnorm	Een hoeveelheid nutriënten welke op of in de landbouwgrond dient te worden gebracht teneinde een economisch optimaal resultaat te bereiken (De Haan & Van Geel, 2013).
Akkerbouw	Teelten van akkerbouwgewassen (exclusief gras) op landbouwgronden.
Aqua Regia	Een mengsel van geconcentreerd zout- en salpeterzuur met een verhouding 3:1.
Atmosferische depositie	De belasting van de bodem en het oppervlaktewater met stoffen vanuit de atmosfeer.
Bemestingsnorm	Een adviesnorm of een gebruiksnorm.
Bemestingsscenario	Een combinatie van meststoffen en/of bodemverbeteraars welke binnen de geldende bemestingsnormen voor stikstof en fosfor aan een perceel wordt toegevoegd.
Betacal	De handelsnaam van een kalkhoudende stof (schuimaarde) welke wordt gevormd bij de productie van suiker.
Bioaccumulatiefactor	De verhouding tussen metaalgehalte in de plant en het metaalgehalte in de bodem.
Bioconcentratiefactor	De verhouding tussen metaalgehalte in de plant en het metaalgehalte in de bodem.
Bio-afval	"Biologisch afbreekbaar tuin- en plantsoenafval, levensmiddelen- en keukenafval van huishoudens, restaurants, cateringfaciliteiten en winkels en vergelijkbare afvalstoffen van de levensmiddelenindustrie" (Europese Unie, 2008, p. 9).
Bodemevaporatie	De verdamping van water vanaf het bodemoppervlak.
Bodemverbeteraar	Een product wat aan de bodem wordt toegevoegd met als doel het verbeteren van de fysische eigenschappen van diezelfde bodem.
Bouwland	Landbouwgrond welke niet in gebruik is als grasland (Meststoffenwet).
Bouwplan	Een akkerbouwstrategie in de basis bestaande uit de jaarlijkse roulatie van in de regel meerdere gewassen over meerdere percelen, waardoor jaarlijks op ieder perceel een ander gewas wordt geteeld.

Bouwvoor	Het bovenste deel van de bodem, waarin de meeste wortelvorming plaatsvindt, en waarvan wordt aangenomen dat deze minimaal één maal per jaar onder invloed staat van grondbewerkingstechnieken (zoals ploegen, frezen).
Bovenliggende scenario	Het scenario bestaande uit dezelfde meststoffen, maar dan hoger in rangorde (zie Bijlage 21 en 22, bijv. scenario B-1 is het bovenliggende scenario van B-2; het bovenliggende scenario van N-1 betreft scenario L-1).
Champignoncompost	Een product wat ontstaat bij het fermenteren van een mengsel van stro-rijke paardenmest, schuimaarde en slachtkuikenmest (Westhoek et al., 1996).
Champost	Een product bestaande uit afgewerkte champignoncompost en dekaarde (een mengsel van tuinturf en schuimaarde) (Westhoek et al., 1996).
Compost	Het gestabiliseerde product wat ontstaat na een proces van gecontroleerde afbraak van plantaardig biologisch afbreekbaar materiaal onder aërobe omstandigheden.
Dierlijke mest(stoffen)	Uitwerpselen van dieren al dan niet vermengd met strooisel (Meststoffenwet).
Digestaat	Het gestabiliseerde product wat het gevolg is van een proces van gecontroleerde anaërobe afbraak van biologisch afbreekbaar materiaal.
Dikke fractie	Een product met een relatief hoge droge stof concentratie welke het gevolg is van fysische en/of chemische mestscheiding van onbewerkte mest.
Dunne fractie	Een product met een relatief lage droge stof concentratie welke het gevolg is van fysische en/of chemische mestscheiding van onbewerkte mest.
EG-meststof	Een meststof die tot een in bijlage I van de Verordening in zake meststoffen (EG 2003/2003) vermeld type meststoffen behoort en aan de in die verordening vastgestelde voorwaarden voldoet (Europese Unie, 2003).
End-of-waste status	De status welke een product heeft wanneer het voldoet aan de relevante end-of-waste criteria. Het product is in dat geval niet meer langer een afvalstof, maar kan nuttig worden toegepast (Europese Unie, 2008).
Fosfaat	Het betreft fosfor in de vorm van P_2O_5 .
Fosfaatgebruiksnorm	Een vastgestelde hoeveelheid fosfaat welke, per hectare van de tot het bedrijf behorende oppervlakte landbouwgrond, op of in de bodem mag worden gebracht (Meststoffenwet).

Fosfaattoestand	Een maat voor de aanwezige hoeveelheid fosfaat in de bouwvoor (bouwland) uitgedrukt als laag, neutraal en hoog (zie Pw-getal) (Meststoffenwet).
Gebruiksnorm voor dierlijke meststoffen	Een vastgestelde hoeveelheid stikstof afkomstig uit dierlijke meststoffen, welke per hectare van de tot het bedrijf behorende oppervlakte landbouwgrond, op of in de bodem mag worden gebracht (Meststoffenwet).
Gebruiksruimte voor dierlijke meststoffen	De gebruiksnorm voor dierlijke meststoffen vermenigvuldigd met het aantal hectare van de tot het bedrijf behorende oppervlakte landbouwgrond (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, z.j. a).
Gebruiksruimte voor fosfaat	De gebruiksnorm voor fosfaat vermenigvuldigd met het aantal hectare van de tot het bedrijf behorende oppervlakte landbouwgrond (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, z.j. a).
Gebruiksruimte voor stikstof	De sommatie op bedrijfsniveau van de betaalde oppervlakte landbouwgrond met een bepaald gewas vermenigvuldigd met de bij het gewas horende stikstofgebruiksnorm (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, z.j. a).
Gewasrotatie	Het in de praktijk eenmaal volledig doorlopen van een bouwplan.
GFT-compost	Het product wat ontstaat na het composteren van groente-, fruit- en tuinafval.
Kalkammonsalpeter	Triviale naam voor calciumammoniumnitraat, een kunstmest bestaande uit 27% N (massaprocent).
Kortetermijnontwikkeling	Een ontwikkeling welke plaatsvindt in de komende 100 jaar.
Kunstmest	Een anorganisch product wat aan de bodem wordt toegevoegd met als doel planten te voorzien van de nutriënten stikstof en fosfor.
Landbouwgrond	Grond welke wordt gebruikt voor de teelt van akkerbouwgewassen, gras of bloembollen.
Langetermijnontwikkeling	Een ontwikkeling welke plaatsvindt op enig moment na minimaal 100 jaar, gerekend vanaf heden.
Meststof	Een organisch of anorganisch product wat aan de bodem wordt toegevoegd met als doel planten te voorzien van de nutriënten stikstof en fosfor.
Mestverwerkingsproduct	Een product wat ontstaat bij de fysische en/of chemische bewerking van mest en welke kan worden ingezet als meststof of bodemverbeteraar.

Metaalbalans	Een overzicht van de aan- en afvoerposten van zware metalen in een vooraf gedefinieerd gedeelte van de bodem.
Metaalgehalte totaal	Het metaalgehalte in de bodem wat is vastgesteld met behulp van een Aqua Regia destructie.
Mineralenconcentraat	Het concentraat wat ontstaat bij het toepassen van omgekeerde osmose op de dunne fractie van mest.
Neutraliserende waarde	Eén kilogram neutraliserende waarde komt overeen met de neutraliserende werking van één kilogram calciumoxide (CaO) in een kalkmeststof (Rombouts & Reyns, 2014).
Overige anorganische meststof	Een anorganische meststof niet zijnde een EG-meststof (Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet).
Overige organische meststof	Een organische meststof niet zijnde een dierlijke meststof, zuiveringsslib of compost (Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet).
Perceel	Een aaneengesloten stuk bouwland, bestaande uit één bodemtype zonder horizontale en verticale variatie in de bouwvoor, welke geheel is bebouwd met één gewas.
Pw-getal	Een waarde (uitgedrukt in $\text{mg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{l}^{-1}$ grond) voor de fosfaattoestand van bouwland. Lage fosfaattoestand: $\text{Pw} < 36$; neutrale fosfaattoestand: $36 \leq \text{Pw} \leq 55$; hoge fosfaattoestand: $\text{Pw} > 55$ (Meststoffenwet).
Reactief metaalgehalte	Het deel van het metaalgehalte totaal in de bodem wat wordt geëxtraheerd met 0,43 M HNO_3 . De reactieve fractie kan gezien worden als de potentieel (bio)beschikbare fractie (Römkens et al., 2004).
Reststroom	Een meststof of bodemverbeteraar welke op basis van de huidige Nederlandse wetgeving, in zijn geheel of op basis van het gehalte aan zware metalen, niet mag worden toegepast in de Nederlandse landbouw, maar mogelijk - naar aanleiding van de herziening van de Europese Verordening inzake meststoffen (EG 2003/2003), de 'end-of-waste' benadering van de Richtlijn afvalstoffen (2008/98/EG) of de (eventueel herziene) Richtlijn voor het gebruik van zuiveringsslib in de landbouw (86/278/EEG) - in de nabije toekomst wel mag worden toegepast.
Schuimaarde	Een kalkhoudend restproduct afkomstig van de suikerindustrie.
Steady state	De situatie waarbij er over de gehele gewasrotatie gezien een verandering op treedt van $< 0,01\%$ van het metaalgehalte ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ ds}$) in de bouwvoor (De Vries et al., 2002).

Stikstofgebruiksnorm	Een vastgestelde hoeveelheid stikstof, welke per hectare van de tot het bedrijf behorende oppervlakte landbouwgrond, op of in de bodem mag worden gebracht (Meststoffenwet).
Transpiratie	Het proces van verdamping van waterdamp vanuit de huidmondjes van planten.
Waardegevende bestanddeel	De bestanddelen stikstof, fosfaat, kali, neutraliserende waarde en/of organische stof in een meststof of bodemverbeteraar.
Werkingscoëfficiënt	Een percentage van de daadwerkelijk aanwezige hoeveelheid stikstof in dierlijke en organische meststoffen wat in aanmerking wordt genomen bij de bepaling van de hoeveelheid stikstof welke in relatie tot de stikstofgebruiksnorm op of in de landbouwgrond wordt gebracht (Uitvoeringsregeling Meststoffenwet).
Zuiveringsslib	Slib wat afkomstig is van zuiveringsinstallaties voor huishoudelijk en/of stedelijk afvalwater en van andere zuiveringsinstallaties voor afvalwater met soortgelijke samenstelling als huishoudelijk en stedelijk afvalwater.
Zware metalen	De metalen cadmium, chroom, koper, kwik, lood, nikkel, zink en arseen.

Bijlagen

Bijlage 1: Jaarlijkse vrachten nutriënten en zware metalen vanuit meststoffen en bodemverbeteraars naar de Nederlandse bodem

Tabel B.1.1: *Jaarlijkse vrachten nutriënten en zware metalen vanuit meststoffen en bodemverbeteraars naar de Nederlandse bodem voor 2010/2011* (Ehlert, Posthuma et al., 2013)

Meststof/bodemv.	N x10 ⁶ kg	P ₂ O ₅ x10 ⁶ kg	Cd x10 ³ kg	Cr x10 ³ kg	Cu x10 ³ kg	Hg x10 ³ kg	Ni x10 ³ kg	Pb x10 ³ kg	Zn x10 ³ kg	As x10 ³ kg
Kunstmest N	200	-	0,09	6,7	1	0,05	15,6	0,7	4	0,4
Kunstmest P ₂ O ₅	20	31	1,45	6,0	3	0,01	1,8	0,9	15	0,6
Kunstmest K ₂ O	-	-	0,01	0,0	0	0,00	0,1	0,2	0	0,1
Kalk	-	-	0,11	1,5	3	0,00	0,6	1,3	13	0,3
Compost	13	6	0,38	18,2	32	0,09	8,9	42,9	139	3,7
Rundveemest	205	74	1,03	27,1	502	0,46	23,3	24,4	736	6,3
Varkensmest	72	42	0,32	8,5	357	0,09	11,6	7,4	780	1,1
Kippenmest	4	2	0,01	0,5	5	0,00	0,5	0,8	26	0,1
Slib ¹	1	3	0,01	0,6	1	0,00	0,4	0,8	4	0,1

¹ Veelal zuiveringsslib van de levensmiddelen- en papierindustrie (geen communaal zuiveringsslib)

Tabel B.1.2: *Relatieve bijdrage van meststoffen en bodemverbeteraars in de vrachten nutriënten en zware metalen vanuit meststoffen en bodemverbeteraars voor 2010/2011* (Ehlert, Posthuma et al., 2013)²

Meststof/bodemv.	N %	P ₂ O ₅ %	Cd %	Cr %	Cu %	Hg %	Ni %	Pb %	Zn %	As %
Kunstmest N	39	0	3	10	0	7	25	1	0	3
Kunstmest P ₂ O ₅	4	19	42	9	0	1	3	1	1	4
Kunstmest K ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Kalk	0	0	3	2	0	0	1	2	1	2
Compost	3	4	11	26	4	13	14	54	8	30
Rundveemest	40	47	30	39	56	67	37	31	43	49
Varkensmest	14	26	9	12	40	12	18	9	45	9
Kippenmest	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0
Slib	0	2	0	1	0	0	1	1	0	1

² De hoogste relatieve bijdrage heeft een **rood** lettertype

Bijlage 2: Overzicht van de gehalten aan organische stof, N, P en metalen per mestsoort

Tabel B.2.1: *Dunne rundveemest (n=80) (Römkens & Rietra, 2008)*

Regio		ds	Org.Stof		N-totaal		P ₂ O ₅		Zware metalen en Arseen (in mg kg ⁻¹ ds)							
		(g kg ⁻¹ pr)	(% ds)	(g kg ⁻¹ ds)	(g kg ⁻¹ pr)	(g kg ⁻¹ ds)	(g kg ⁻¹ pr)	(g kg ⁻¹ ds)	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As
NL (80)	Min:	56	57	566	2.8	34.7	0.9	11.9	0.17	4.6	23	0.09	2.8	3.4	97	0.5
	Mediaan:	84	77	765	4.3	49.5	1.5	17.3	0.25	6.4	135	0.12	4.5	4.8	198	1.6
	Gem:	84	76	756	4.3	52.1	1.6	19.7	0.27	8.2	182	0.13	5.4	5.2	248	1.6
	Max:	118	82	816	6.5	93.1	3.7	54.3	0.70	60.0	588	0.26	25.0	12.0	962	3.2

Tabel B.2.2: *Dunne varkensmest (n=80) (Römkens & Rietra, 2008)*

Regio		ds	Org.Stof		N-totaal		P ₂ O ₅		Zware metalen en Arseen (in mg kg ⁻¹ ds)							
		(g kg ⁻¹ pr)	(% ds)	(g kg ⁻¹ ds)	(g kg ⁻¹ pr)	(g kg ⁻¹ ds)	(g kg ⁻¹ pr)	(g kg ⁻¹ ds)	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As
NL (80)	Min:	11	56	560	1.1	52.7	0.6	24.4	0.19	4.1	162	0.08	4.5	3.2	448	0.8
	Mediaan:	73	70	697	6.3	89.4	3.7	50.2	0.35	8.1	404	0.14	9.2	5.6	952	1.9
	Gem:	72	70	698	6.5	94.4	3.6	50.4	0.39	11.8	444	0.17	10.2	7.0	990	2.0
	Max:	128	100	1000	10.0	213.0	6.2	74.7	1.90	159.0	1432	0.95	31.0	38.0	2102	4.8

Tabel B.2.3: *Vaste vleeskuikenmest (n=40) (Römkens & Rietra, 2008)*

Regio		ds	Org.Stof		N-totaal		P ₂ O ₅		Zware metalen en Arseen (in mg kg ⁻¹ ds)							
		(g kg ⁻¹ pr)	(% ds)	(g kg ⁻¹ ds)	(g kg ⁻¹ pr)	(g kg ⁻¹ ds)	(g kg ⁻¹ pr)	(g kg ⁻¹ ds)	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As
NL (40)	Min:	538	70	695	25.3	37.8	11.6	18.3	0.2	3.2	44	0.04	2.6	6.3	205	1.1
	Mediaan:	683	86	860	31.6	48.2	16.1	25.1	0.2	3.9	78	0.04	3.3	6.3	266	1.1
	Gem:	696	85	846	34.1	48.9	19.2	27.0	0.2	5.5	86	0.04	3.7	6.3	297	1.1
	Max:	912	90	895	53.1	71.4	74.0	85.8	0.3	15.0	171	0.04	7.2	6.5	607	1.5

Bijlage 2: Overzicht van de gehalten aan organische stof, N, P en metalen per mestsoort (vervolg)

Tabel B.2.4: *Vaste rundveestalmest* (Vreeburg & Korsuize, 2013)

DS	N-t	P ₂ O ₅	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As
g.kg ⁻¹ pr	g.kg ⁻¹ ds		mg.kg ⁻¹ ds							
264	20,62	16,46	<0,3 ¹	<10 ¹	34	0,07	6	14	184	<3 ¹

¹ Voor berekeningen wordt (arbitrair) gebruik gemaakt van de helft van de waarde

Bijlage 3: Zware metalen in kunstmeststoffen

Tabel B.3.1: Gehalten aan stikstof (g.kg^{-1} ds) en zware metalen (mg.kg^{-1} pr) in kalkammonsalpeter (Westhoek et al., 1996)

Parameter	N	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As
g.kg^{-1} ds	270 ¹	-	-	-	-	-	-	-	-
mg.kg^{-1} pr	-	0,10	1,0	2,3	0,1	10,8	23,0	7,0	59,2

¹ Dit betreft een typische waarde voor kalkammonsalpeter

Tabel B.3.2: Gehalten (mediaan) aan fosfaat (g.kg^{-1} ds) en zware metalen (mg.kg^{-1} pr) van in Nederland toegepaste fosfaatkunstmeststoffen ($n=7$) (Nziguheba & Smolders, 2008)¹

Parameter	P_2O_5	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As
g.kg^{-1} ds	272	-	-	-	-	-	-	-	-
mg.kg^{-1} pr	-	12,5	61,3	21,2	0,08 ²	30,6	2,5	266,3	6,5

¹ Het betreft onderliggende data welke niet als zodanig zijn gerapporteerd in de aangehaalde bron.

² Gebaseerd op Remy & Ruhland, 2006

Bijlage 4: Gehalten aan zware metalen, N, P, K, organische stof en droge stof voor compost

Tabel B.4.1: Gehalten aan zware metalen (mg.kg^{-1} ds)

Parameter		Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As
Compostsoort		mg.kg^{-1} ds							
GFT-compost ¹	Gem.	0,51	22	50	0,08	12	63 ³	198	4,4
	Min.	0,33	17	38	0,04	8,8	48	155	3,4
	Max.	0,85	25	67	0,11	14	94	223	6,4
Champost ²	Gem.	0,35	12	44	0,044	9,6	19	174	0,90
	Min.	0,31	7,9	23	0,029	7,3	17	162	0,60
	Max.	0,39	15	58	0,054	15	22	187	1,1

¹ Vreeburg & Korsuize, 2013

² Driessen & Roos, 1996

³ Een uitschieter van 387 mg.kg^{-1} ds is niet meegenomen in de berekening van het gemiddelde.

Tabel B.4.2: Gehalten aan nutriënten (g.kg^{-1} ds), organische stof (g.kg^{-1} ds) en droge stof (%)

Parameter		N	P2O5	K2O	os	ds
Compostsoort		g.kg^{-1} ds				%
GFT-compost ¹	Gem.	17,2	8,0	12,9	399	70,8
	Min.	13,4	5,7	8,7	333	66,0
	Max.	22,4	10,9	17,5	473	76,4
Champost ²	Gem.	20	16	35	567	34,6
	Min.	18	11	26	537	24,4
	Max.	21	18	43	622	40,8

¹ Vreeburg & Korsuize, 2013

² Driessen & Roos, 1996

Bijlage 5: Een afleiding van de samenstelling van digestaat

In tabel B.5.1. en B.5.2 is de mediane samenstelling van een groot aantal covergistingsproducten vermeld.

Tabel B.5.1: *Samenstelling (mediaan) van covergistingsmaterialen en het aantal waarnemingen (mg.kg^{-1} ds) (Ehlert, Van Schöll, & Van Dijk, 2013)*

Parameter	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As
mg.kg^{-1} ds	0,3	9,0	10,0	0,1	4,9	5,0	38,4	2,0
n	173	154	173	162	156	174	170	156

Tabel B.5.2: *Samenstelling (mediaan) van covergistingsmaterialen en het aantal waarnemingen (De Poorter et al., 2013)*

Parameter	Droge stof	Organische stof	N-totaal	P ₂ O ₅
g.kg^{-1} pr	338,7	-	-	-
g.kg^{-1} ds	-	913,9	19,1	7,3
n	186	178	183	181

Door de bovenstaande gegevens van de coververgistingsmaterialen te combineren met de samenstelling van dunne varkensdrijfmest (zie Bijlage 2, tabel B.2.2) wordt een representatieve samenstelling verkregen van digestaat (zie tabel B.5.3a/b). Voor de organische stof is uitgegaan van een afbraakrendement van 40%.

Tabel B.5.3a: *Samenstelling digestaat (berekend) op basis van de mediane samenstelling van covergistingsmaterialen en dunne varkensmest (mengverhouding = 50%-50%) (mg.kg^{-1} ds)*

Parameter	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As
mg.kg^{-1} ds	0,48	13,60	122,90	0,16	8,71	7,86	308,38	3,05

Tabel B.5.3b: *Samenstelling digestaat (berekend) op basis van de mediane samenstelling van covergistingsmaterialen en dunne varkensmest (mengverhouding = 50%-50%)*

Parameter	Droge stof	Organische stof	N-totaal	P ₂ O ₅
g.kg^{-1} pr	133,7	-	-	-
g.kg^{-1} ds	-	808,32	48,57	22,94

Bijlage 6: Samenstelling van zuiveringsslib

Tabel B.6.1: *Gemiddelde samenstelling van het in 2011 in Nederland geproduceerde zuiveringsslib* (Centraal Bureau voor de Statistiek, 2013b)

ds	os	N	P ¹	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As
%		g.kg ⁻¹ ds		mg.kg ⁻¹ ds							
25,4	17,5	56,5	32,4	1,3	41	412	0,75	33	114	1.012	10

¹De massa-verhouding tussen P₂O₅ en P bedraagt 2,29

Bijlage 7: Samenstelling van dunne en dikke fractie na mestscheiding

Tabel B.7.1: Samenstelling van dunne en dikke fractie op basis van dunne varkensmest

Mestsoort	Eenheid	DS	OS	N-t	P2O5	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As
<u>Dunne fractie</u>													
Varkensmest	mg.kg-1 pr	-	-	-	-	-	0,07 ³	0,45 ²	-	0,24 ³	-	1,00 ²	-
	g.kg-1 pr ¹	16	7,09	3,756	0,22	-	-	-	-	-	-	-	-
	mg.kg-1 ds	-	-	-	-	0,35 ⁴	4,4	28,1	0,14 ⁴	15,0	5,6 ⁴	62,5	1,9 ⁴
	g.kg-1 ds	-	443	235	13,7	-	-	-	-	-	-	-	-
<u>Dikke fractie</u>													
Varkensmest	mg.kg-1 pr	-	-	-	-	-	1,84 ³	113,35 ²	-	2,612 ³	-	330,29 ²	-
	g.kg-1 pr ¹	280,1	214,26	12,035	15,73	-	-	-	-	-	-	-	-
	mg.kg-1 ds	-	-	-	-	0,35 ⁴	6,6	404,7	0,14 ⁴	9,3	5,6 ⁴	1.179,2	1,9 ⁴
	g.kg-1 ds	-	765	42,97	56,2	-	-	-	-	-	-	-	-

¹ Mediane waarden (Ehlert & Hoeksma, 2011)

² Mediane waarden (Ehlert & Hoeksma, 2011)

³ Gemiddelde waarde gebaseerd op Hoeksma et al. (2011)

⁴ Op basis van de bevindingen van Verlinden (2005) zijn de gehalten in de dunne en dikke fractie gelijkgesteld aan de ruwe, niet gescheiden mest.

Bijlage 8: Samenstelling van mineralenconcentraten

Tabel B.8.1a: *Samenstelling (mediaan) en aantal waarnemingen van mineralenconcentraten op basis van varkensdrijfmest (mg.kg^{-1} pr) (Ehlert & Hoeksma, 2011)*

Parameter	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As
mg.kg^{-1} pr	-	-	0,62	-	-	-	0,92	-
n	-	-	92	-	-	-	90	-

Tabel B.8.1b: *Samenstelling (mediaan) en aantal waarnemingen van mineralenconcentraten op basis van varkensdrijfmest (g.kg^{-1} pr) (Ehlert & Hoeksma, 2011)*

Parameter	Droge stof	Organische stof	N-totaal	P_2O_5
g.kg^{-1} pr	33,5	12,96	6,858	0,35
n	101	102	101	101

Bijlage 9: Stikstofgebruiksnormen

Tabel B.9.1: *Stikstofgebruiksnormen (uitgedrukt in aantal kg stikstof per hectare van de tot het bedrijf behorende oppervlakte landbouwgrond) (Uitvoeringsregeling Meststoffenwet)*

grondsoort	kleigrond	zandgrond	lössgrond	veengrond
jaar	2014–2017	2014	2014	2014–2017
Akkerbouwgewassen (kg N per ha per teelt)				
Blauwmaanzaad	110	100	100	105
Cichorei	70	70	70	70
Consumptieaardappelrassen hoge norm (zie tabel 2)	275	260	255	270
Consumptieaardappelrassen lage norm (zie tabel 2)	225	210	205	220
Consumptieaardappelrassen, vroeg	120	120	120	120
Consumptieaardappelrassen, overig	250	235	230	245
Graszaad, Engels raaigras, 1e jaars	165	150	150	155
Graszaad, Engels raaigras, overjarig	200	185	185	190
Graszaad, Italiaans	130	120	120	125
Graszaad, rietwenkgras	140	130	130	135
Graszaad, rietwenkgras, volgteelt	60	50	50	55
Graszaad, roodzwenkgras, 1e jaars	85	80	75	80
Graszaad, roodzwenkgras, 1e jaars, volgteelt	35	35	35	35
Graszaad, roodzwenkgras, overjarig	115	105	105	110
Graszaad, roodzwenkgras, overjarig, volgteelt	45	45	45	45
Graszaad, veldbeemd	110	100	100	105
Graszaad, veldbeemd, volgteelt	60	50	50	55
Graszaad, westerwolds	110	100	100	105
Graszaad, overig	90	80	80	85
Graszaad, overig, volgteelt	45	45	45	45
Graszoden	340	340	340	340
Haver	100	100	100	100
Mais, bedrijven met derogatie	160	140	140	150
Mais, bedrijven zonder derogatie	185	140	140	150
Luzerne, eerste jaar	40	40	40	40
Luzerne, volgende jaren	0	0	0	0
Karwij	150	140	140	145
Karwij waarvan ten hoogste na 31/12 (winterteelt)	90	80	80	85
Koolzaad waarvan ten hoogste voor 31/12 (winterteelt)	45	45	45	45
Koolzaad, winter	205	190	190	195
Koolzaad, zomer	120	120	120	120
Pootaardappelrassen hoge norm (zie tabel 3)	140	140	140	140
Pootaardappelrassen lage norm (zie tabel 3)	100	100	100	100
Pootaardappelen, uitgroeiteelt	180	165	165	170
Pootaardappelrassen, overig	120	120	120	120
Suikerbieten	150	145	145	145

Bijlage 9: Stikstofgebruiksnormen (vervolg)

grondsoort	kleigrond	zandgrond	lössgrond	veengrond
jaar	2014–2017	2014	2014	2014–2017
Triticale	160	150	150	150
Ui, overig	120	120	120	120
Vlas	70	70	70	70
Voederbieten	165	165	165	165
Wintergerst	140	140	140	140
Winterrogge	140	140	140	140
Wintertarwe	245	160	190	160
Winterui, 2e jaars plantui	170	155	155	160
Winterui, 2e jaars plantui, waarvan ten hoogste na 31/12 (winterteelt)	130	120	120	125
Zaaiui	170	120	120	120
Zetmeelaardappelen	240	230	230	230
Zomergerst	80	80	80	80
Zomertarwe	150	140	140	140
Akkerbouwgewassen, overig	200	185	185	190

grondsoort	kleigrond	zandgrond	lössgrond	veengrond
jaar	2014–2017	2014	2014	2014–2017
Bloembollengewassen (kg N per ha per teelt)				
Acidanthera	255	240	240	240
Anemone coronaria	130	125	125	125
Dahlia	110	105	105	105
Fritillaria imperialis	135	130	130	130
Gladiol, pitten	260	245	245	245
Gladiol, kralen	190	180	180	180
Hyacint	220	210	210	210
Iris, grofbolig	170	160	160	160
Iris, fijnbolig	140	135	135	135
Knolbegonia	150	145	145	145
Krokus, grote gele	175	165	165	165
Krokus, overig	90	85	85	85
Lelie	155	145	145	145
Narcis	145	140	140	140
Tulp	200	190	190	190
Zantedeschia	120	120	120	120
Bloembollengewassen, overig	165	155	155	155

Bijlage 10: Werkingscoëfficiënten

Tabel B.10.1: *Overzicht van werkingscoëfficiënten (uitgedrukt in %) (Uitvoeringsregeling Meststoffenwet)*

Soort/herkomst meststof ¹	Toepassing ¹	WC
Drijfmest en dunne fractie		
Drijfmest van graasdieren op eigen bedrijf geproduceerd	Op bedrijf met beweiding	45
	Op bedrijf zonder beweiding	60
Drijfmest van graasdieren aangevoerd		60
Drijfmest van varkens	Op klei- en veengrond Op zand en lössgrond	60 80
Drijfmest van overige diersoorten		60

Dunne fractie na mestbewerking en gier		80
Vaste mest		
Van graasdieren op eigen bedrijf geproduceerd	Op bouwland op klei- en veengrond, in de periode van 1 september t/m 31 januari	30
	Overige toepassingen op bedrijf met beweiding	45
	Overige toepassingen op bedrijf zonder beweiding	60
Van graasdieren aangevoerd	Op bouwland op klei- en veengrond, in de periode van 1 september t/m 31 januari	30
	Overige toepassingen	40
Van varkens, pluimvee en nertsen		55
Van overige diersoorten	Op bouwland op klei- en veengrond, in de periode van 1 september t/m 31 januari	30
	Overige toepassingen	40
Overig		
Compost		10
Champost		25
Zuiveringsslib		40
Overige organische meststoffen		50
Mengsels van meststoffen	Voor mengsels geldt de werkingscoëfficiënt van de meststof met de hoogste werkingscoëfficiënt die het mengsel bevat	

¹ Zonder nadere vermelding geldt de genoemde coëfficiënt voor alle grondsoorten, ongeacht herkomst en voor het gehele jaar, tenzij aanwenden op basis van het Besluit gebruik meststoffen is verboden

Bijlage 10: Werkingscoëfficiënten (vervolg)

Mineralenconcentraat: In het geval toepassing plaatsvindt onder de voorwaarden van het onderzoek 'Productie, afzet en gebruik mineralenconcentraat' bedraagt de werkingscoëfficiënt voor stikstof 100%. Wanneer het mineralenconcentraat buiten het kader van het onderzoek wordt toegepast dient een werkingscoëfficiënt van 80% worden gehanteerd (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, z.j. e; Masterplan Mineralenmanagement, 2013).

Bijlage 11: Atmosferische depositie zware metalen

Tabel B.11.1: *Prognose voor het jaar 2015 van de atmosferische depositie van zware metalen op het onverhard oppervlak in Nederland ($=2,939 \cdot 10^6$ ha) (TNO, Deltares, & PBL, 2013)*

Parameter	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As
kg.jaar ⁻¹	1.585	3.330	46.670	970	10.330	32.824	204.042	3.077
g.ha ⁻¹ .jaar ⁻¹	0,5	1,1	16	0,3	3,5	11	69	1,1

Bijlage 12: Samenstelling Betacal

Tabel B.12.1: *Samenstelling Betacal* (Instituut voor Rationele Suikerproductie, 2001;
Instituut voor Rationele Suikerproductie, 2004)

Parameter	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As	CaO
mg.kg ⁻¹ ds	0,63	12	17	<0,01 ¹	2,2	3,7	69	2,5	4,01.10 ⁵
mg.kg ⁻¹ CaO	1,57	30	42	0,01	5,5	9,2	172	6,2	-

¹ Voor de verdere doorrekening is de helft van het gehalte aangehouden.

Bijlage 13: Modelcoëfficiënten partitierelaties bodem-grondwater

Tabel B.13.1: *Modelcoëfficiënten voor de relatie tussen de totale en reactieve metaalgehalten in de bodem* (P.F.A.M. Römkens, persoonlijke communicatie, 3 juni 2014 (betreft de gegevens van As, Cr en Ni); Römkens et al., 2004)

Parameter	α_0	α_1	α_2	α_3	R^2	$se-y_{est}^1$
Cd	-0,089	1,075	0,022	-0,062	0,96	0,11
Cr	-1,2879	1,131	0,1465	-0,258	0,67	0,3
Cu	-0,331	1,152	0,023	-0,171	0,93	0,13
Hg ²	-	-	-	-	-	-
Ni	-1,206	1,0546	0,7513	-0,2848	0,85	0,31
Pb	-0,263	1,089	0,031	-0,112	0,92	0,16
Zn	-0,703	1,235	0,183	-0,298	0,96	0,16
As	-0,9536	1,022	0,747	-0,53	0,58	0,5

¹ Op logaritmische basis

² Voor kwik zijn geen gegevens beschikbaar (P.F.A.M. Römkens, persoonlijke communicatie, 3 juni 2014)

Bijlage 13: Modelcoëfficiënten partitierelaties bodem-grondwater (vervolg)

Tabel B.13.2: *Range van de database welke is gebruikt voor het afleiden van de modelcoëfficiënten voor de relatie tussen de totale en reactieve metaalgehalten in de bodem (mg.kg^{-1} ds) in tabel B.13.1 (P.F.A.M. Römken, persoonlijke communicatie, 20 en 23 juni 2014)*

Parameter		Eenheid	Minimum	Mediaan	Gemiddeld	Maximum
Cd	Me _{Bodem-Totaal}	mg.kg^{-1} ds	0,01	0,60	1,72	37,0
	Me _{Bodem-Reactief}	mg.kg^{-1} ds	0,01	0,48	1,34	19,9
Cr	Me _{Bodem-Totaal}	mg.kg^{-1} ds	1,66	17,3	-	126
	Me _{Bodem-Reactief}	mg.kg^{-1} ds	0,02	0,8	-	43,4
Cu	Me _{Bodem-Totaal}	mg.kg^{-1} ds	0,63	24,0	33,9	326,0
	Me _{Bodem-Reactief}	mg.kg^{-1} ds	0,25	12,1	20,0	309,8
Hg ¹	Me _{Bodem-Totaal}	mg.kg^{-1} ds	-	-	-	-
	Me _{Bodem-Reactief}	mg.kg^{-1} ds	-	-	-	-
Ni	Me _{Bodem-Totaal}	mg.kg^{-1} ds	0,42	11,9	-	59,4
	Me _{Bodem-Reactief}	mg.kg^{-1} ds	0,01	1,17	-	17,7
Pb	Me _{Bodem-Totaal}	mg.kg^{-1} ds	0,93	37,0	83,1	1.660,9
	Me _{Bodem-Reactief}	mg.kg^{-1} ds	0,10	23,5	59,1	1.536,2
Zn	Me _{Bodem-Totaal}	mg.kg^{-1} ds	0,83	165,0	339,1	3.118,4
	Me _{Bodem-Reactief}	mg.kg^{-1} ds	0,34	73,0	200,2	2.764,2
As	Me _{Bodem-Totaal}	mg.kg^{-1} ds	0,59	7,3	-	51,2
	Me _{Bodem-Reactief}	mg.kg^{-1} ds	0,01	0,87	-	23,8

¹ Voor kwik zijn geen gegevens beschikbaar (P.F.A.M. Römken, persoonlijke communicatie, 3 juni 2014)

Bijlage 13: Modelcoëfficiënten partitierelaties bodem-grondwater (vervolg)

Tabel B.13.3: *Modelcoëfficiënten voor de relatie tussen de reactieve metaalgehalten in de bodem en de metaalconcentraties in het bodemvocht (P.F.A.M. Römken, persoonlijke communicatie, 6 juni 2014 (betreft de gegevens voor As en Cr); Römken et al., 2004)*

Parameter	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	R^2	se- y_{est}
Cd	5,05	1,26	-0,69	-0,48	-0,40	0,665	0,54
Cr ¹	-5,74	0,199	n.s. ³	0,158	-0,201	0,48	0,23
Cu	1,10	0,87	-0,28	-0,27	-0,18	0,421	0,49
Hg ²	-	-	-	-	-	-	-
Ni	3,40	0,93	-0,53	-0,20	-0,45	0,641	0,41
Pb	0,51	0,70	-0,54	-0,30	-0,26	0,477	0,65
Zn	4,69	1,08	-0,35	-0,48	-0,54	0,769	0,51
As ¹	-5,77	0,421	0,642	-0,400	n.s. ³	0,64	0,39

¹ Voor As en Cr gelden de modelcoëfficiënten voor een relatie waarbij de metaalconcentratie in het bodemvocht is uitgedrukt in mol.l⁻¹. Voor de overige metalen betreft de eenheid mmol.l⁻¹.

² Voor kwik zijn geen gegevens beschikbaar.

³ Niet significant

Bijlage 13: Modelcoëfficiënten partitierelaties bodem-grondwater (vervolg)

Tabel B.13.4: *Range van de database welke is gebruikt voor het afleiden van de modelcoëfficiënten voor de relatie tussen de reactieve metaalgehalten in de bodem (mg.kg^{-1} ds) en de metaalconcentraties in het bodemvocht ($\mu\text{g.l}^{-1}$) in tabel B.13.3 (J.E. Groenenberg, persoonlijke communicatie, 30 juni 2014 (betreft de gegevens voor As en Cr); Römkens et al., 2004)*

Parameter		Eenheid	Minimum	Mediaan	Gemiddeld	Maximum
Cd	Me _{Bodem-Reactief}	mg.kg^{-1} ds	0,01	0,44	1,19	20,2
	Me _{Bodemvocht}	$\mu\text{g.l}^{-1}$	0,01	1,8	21,4	1.081
Cr	Me _{Bodem-Reactief}	mg.kg^{-1} ds	-	-	-	-
	Me _{Bodemvocht}	$\mu\text{g.l}^{-1}$	0,39 ²	1,11	-	3,69 ³
Cu	Me _{Bodem-Reactief}	mg.kg^{-1} ds	0,2	5,7	14,0	305,7
	Me _{Bodemvocht}	$\mu\text{g.l}^{-1}$	0,1	10,3	54,0	17.774
Hg ¹	Me _{Bodem-Reactief}	mg.kg^{-1} ds	-	-	-	-
	Me _{Bodemvocht}	$\mu\text{g.l}^{-1}$	-	-	-	-
Ni	Me _{Bodem-Reactief}	mg.kg^{-1} ds	0,02	1,87	3,74	20,50
	Me _{Bodemvocht}	$\mu\text{g.l}^{-1}$	0,05	13,6	38,5	2.587
Pb	Me _{Bodem-Reactief}	mg.kg^{-1} ds	0,02	23,8	83,5	1.560,2
	Me _{Bodemvocht}	$\mu\text{g.l}^{-1}$	0,1	9,6	228	15.919
Zn	Me _{Bodem-Reactief}	mg.kg^{-1} ds	0,3	22,8	279,4	9.640,5
	Me _{Bodemvocht}	$\mu\text{g.l}^{-1}$	0,1	278	5.500	347.170
As	Me _{Bodem-Reactief}	mg.kg^{-1} ds	-	-	-	-
	Me _{Bodemvocht}	$\mu\text{g.l}^{-1}$	0,09 ²	2,86	-	14,91 ³

¹ Voor kwik zijn geen gegevens beschikbaar

² 5-percentiel i.p.v. minimum

³ 95-percentiel i.p.v. maximum

Bijlage 14: Yield akkerbouwgewassen en bloembollen

Tabel B.14.1: *Yield data (ton droge stof per hectare) en droge stof gehalte (%) van de gewassen* (Groenenberg et al., 2006)

Gewas¹		Aardappel	Suikerbiet	Tarwe	Mais
Bodemtype	Drainage	ton droge stof.ha⁻¹			
Zand	Vochtig	10	12,2	6,4	16
Löss/klei	Droog/vochtig	11,5	13,8	7,4	16
Veen	Droog/vochtig	10	12,2	6,4	11

¹ Droge stof gehalte: Aardappel = 23%; Suikerbiet = 23%; Tarwe = 85% (Groenenberg et al., 2006); Mais = 33% (Uitvoeringsregeling meststoffenwet).

Tabel B.14.2: *Hoeveelheid oogstbaar product (bollen) (kg vers.ha⁻¹)* (Van der Voort, Van der Klooster, Van der Wekken, Kemp, & Dekker, 2006)

Gewas	Oogstbare bollen kg vers.ha⁻¹
Hyacint	51.300
Narcis	55.900
Tulp	43.400

Bijlage 15: Modelcoëfficiënten bodem-plant relaties

Tabel B.15.1: Modelcoëfficiënten bodem-plant relaties voor cadmium (Römkens et al., 2007)

Gewas	n	Metaalgehalte (mg kg ⁻¹)				Bodem eigenschappen						Coëfficiënten Bodem plant relatie						
		Bodem		Gewas		pH KCl		OM (%)		klei (%)		INT	SOM	Klei	pH	Q	R ²	se(Y)
		min	max	min	max	min	max	min	max	min	max							
Aardappel	60	0.07	5.5	0.01	1.1	3.8	7.6	0.7	28.3	3	40	0.97	-0.41	-0.20	-0.21	0.81	0.78	0.26
Andijvie	87	0.06	12.6	0.21	18.2	3.8	7.6	1.3	28.3	3	38	2.35	-0.44	-0.18	-0.28	0.58	0.66	0.24
Gerst	29	0.05	5.2	0.01	0.3	3.8	7.6	0.7	28.3	3	36	-1.02	-0.14	ns ¹	ns	0.57	0.80	0.19
Gras	14	0.65	3.1	0.07	1.3	4.8	5.6	2.9	10.1	3	3	1.45	ns	ns	-0.38	1.22	0.63	0.23
Mais	39	0.13	11.8	0.07	6.1	4.2	7.5	1.9	14	3	37	0.90	ns	-0.32	-0.21	1.08	0.50	0.28
Prei	15	0.19	0.8	0.06	0.5	4.9	7.4	1.1	2.5	5	16	2.52	-1.22	-1.00	-0.24	1.40	0.48	0.29
Radijs	39	0.05	5	0.14	2.8	3.8	7.6	0.7	28.3	3	38	1.03	-0.39	-0.20	-0.11	0.67	0.74	0.18
Sla	69	0.85	12.6	0.25	8.9	4.7	7.3	1.8	35.5	4	31	2.55	-0.39	-0.19	-0.33	0.85	0.71	0.16
Spinazie	36	0.19	0.9	0.2	1.9	4.7	7.1	1.2	29.8	1	22	2.19	-0.4	ns	-0.29	0.77	0.49	0.2
Suikerbiet	112	0.14	11.4	0.11	3.2	4.5	7.5	1.3	13.5	1	31	1.33	ns	-0.13	-0.22	0.62	0.83	0.15
Tarwe	106	0.1	10.6	0.02	0.6	4.2	7.7	1.4	42.1	2	32	0.22	-0.33	-0.04	-0.12	0.62	0.64	0.2
Tomaat	40	0.2	11	0.04	1.5	5.4	7.3	2.9	45.1	2	28	1.52	-0.75	ns	-0.21	0.51	0.41	0.25
Waspeen	100	0.04	1.5	0.09	2	4.4	7.7	0.4	6.9	0	12	1.00	ns	ns	-0.20	0.29	0.43	0.25

¹ niet significant

Tabel B.15.2: Modelcoëfficiënten bodem-plant relaties voor koper (Römkens et al., 2007)

Gewas	n	Metaalgehalte (mg kg ⁻¹)				Bodem eigenschappen						Coëfficiënten Bodem plant relatie						
		Bodem		Gewas		pH KCl		OM (%)		klei (%)		INT	SOM	Klei	pH	Q	R ²	se(Y)
		min	max	min	max	min	max	min	max	min	max							
Aardappel	25	10	58	2.1	16.9	4.7	7.3	1.2	7.5	4	25	0.22	0	0	-0.02	0.43	0.13	0.19
Andijvie	52	10	116	3.8	16.6	4.7	7.1	1.4	12.0	5	23	0.96	-0.10	0.27	-0.10	0.24	0.19	0.14
Gras	33	10	133	6.4	21.5	3.8	7.5	2.8	14.1	7	41	1.41	-0.65	0	-0.18	0.83	0.37	0.08
Mais	39	5	145	1.9	7.0	4.2	7.5	1.9	14.0	3	37	0.07	0	-0.11	0.06	0.19	0.41	0.09
Prei Maas	15	12	23	3.3	6.8	4.9	7.4	1.1	2.5	5	16	0.00	0	0.30	0	0.28	0.57	0.06
Sla	77	6	116	4.7	16.0	4.7	7.7	1.2	12.0	4	31	0.75	0	0	-0.06	0.42	0.42	0.09
Suikerbiet	64	11	111	3.9	19.4	4.5	7.4	1.3	13.5	1	31	0.73	0	0	-0.03	0.30	0.39	0.08
Tarwe	18	16	97	3.8	6.7	5.9	7.3	1.4	9.9	11	30	0.65	0	0	-0.03	0.16	0.21	0.07

Bijlage 15: Modelcoëfficiënten bodem-plant relaties (vervolg)

Tabel B.15.3: Modelcoëfficiënten bodem-plant relaties voor lood (Römkens et al., 2007)

Gewas	n	Metaalgehalte (mg.kg ⁻¹)				Bodemeigenschappen						Coëfficiënten Bodem plant relatie						
		Bodem		Gewas		pH KCl		OM (%)		klei (%)		INT	SOM	Klei	pH	Q	R ²	se(Y)
		min	max	min	max	min	max	min	max	min	max							
Aardappel	118	6	297	0.05	0.8	4.7	7.6	1.2	15.0	2	34	-0.91	0	0	-0.05	0.24	0.15	0.21
Andijvie	52	24	548	0.40	3.6	4.7	7.1	1.4	12.0	5	23	-0.03	-0.17	0.13	-0.09	0.31	0.16	0.17
Gerst	45	5	121	0.09	0.8	4.5	7.6	1.4	18.3	1	30	-0.41	-0.29	-0.06	0	0.06	0.09	0.21
Gras	115	11	680	0.70	9.8	3.8	7.5	2.1	69.2	1	41	-0.17	0.05	-0.17	-0.06	0.29	0.25	0.19
Mais	85	6	590	1.00	4.1	4.2	7.5	1.7	22.0	1	37	0.23	-0.52	-0.14	-0.09	0.51	0.25	0.1
Sla	152	4	548	0.03	16.7	4.7	7.7	1.2	35.5	2	31	-0.65	0	-0.3	0	0.59	0.4	0.2
Spinazie	82	5	160	0.20	4.5	4.7	7.5	1.2	36.1	1	25	-0.42	0	-0.24	0	0.42	0.26	0.24
Suikerbiet	64	22	415	0.40	8.6	4.5	7.4	1.3	13.5	3	31	-0.64	-0.36	0	0.09	0.39	0.28	0.15
Tarwe	89	6	325	0.04	2.6	4.2	7.3	1.4	42.1	2	36	-0.44	-0.37	0	-0.14	0.65	0.37	0.34
Tomaat	40	5	280	0.04	1.6	5.4	7.3	2.9	45.1	2	28	-0.57	-0.1	-0.24	0	0	0.17	0.21
Waspeen	100	2	66	0.14	2.8	4.4	7.7	0.4	6.9	0	12	-0.52	-0.24	-0.12	-0.05	0.56	0.44	0.18

Tabel B.15.4: Modelcoëfficiënten bodem-plant relaties voor zink (Römkens et al., 2007)

Gewas	n	Metaalgehalte (mg.kg ⁻¹)				Bodemeigenschappen						Coëfficiënten Bodem plant relatie						
		Bodem		Gewas		pH KCl		OM (%)		klei (%)		INT	SOM	Klei	pH	Q	R ²	se(Y)
		min	max	min	max	min	max	min	max	min	max							
Aardappel	25	41	538	12	25	4.7	7.3	1.2	7.5	4	25	1.23	-0.07	-0.15	-0.09	0.34	0.36	0.08
Andijvie	52	64	1474	51	353	4.7	7.1	1.4	12.0	5	23	3.17	-0.38	-0.23	-0.31	0.52	0.74	0.10
Gras ¹	33	71	1686	38	176	3.8	7.4	2.8	14.1	7	41	2.06	1.09	-1.05	-0.09	0.41	0.49	0.11
Mais ¹	39	18	1520	28	174	4.2	7.5	1.9	14.0	3	37	1.35	-0.14	-0.25	-0.17	0.81	0.68	0.13
Prei Maas	15	40	104	18	33	4.9	7.4	1.1	2.5	5	16	1.98	-0.19	-0.44	-0.13	0.36	0.51	0.06
Sla	77	42	1474	40	203	4.7	7.7	1.2	11.9	4	31	2.76	0	-0.26	-0.21	0.34	0.71	0.08
Suikerbiet	112	49	1140	30	343	4.5	7.4	1.3	13.5	3	31	2.69	-0.71	-0.37	-0.41	1.13	0.67	0.14
Tarwe	18	85	1138	33	94	5.9	7.3	1.4	9.9	11	30	1.32	0	-0.24	-0.06	0.45	0.56	0.09

¹ relatie uit landelijke databestand, voor algemeen gebruik

Bijlage 16: Modelcoëfficiënten voor de omrekening van pH-waarden

Tabel B.16.1: Modelcoëfficiënten voor de onderlinge relaties tussen pH-waarden welke zijn gemeten met verschillende methoden (Smolders et al., 2007)

X	Y	Database	Regressie			
			Constante	Helling	R ²	se(Y)
H ₂ O	KCl	I	0,15	0,80	0,89	0,29
		II	-1,29	1,12	0,83	0,74
		I+II	-0,92	1,02	0,80	0,62
	CaCl ₂	I	-0,34	0,92	0,94	0,24
		II	-0,42	1,02	0,90	0,50
		I+II	-0,54	1,00	0,88	-0,54
CaCl ₂	KCl	I	0,42	0,87	0,96	0,18
		II	-0,77	1,09	0,91	0,55
		I+II	-0,37	1,02	0,91	0,41
	H ₂ O	I	0,71	1,02	0,94	0,25
		II	0,98	0,88	0,90	0,47
		I+II	1,19	0,89	0,88	0,43
KCl	H ₂ O	I	0,49	1,12	0,89	0,34
		II	1,97	0,74	0,83	0,60
		I+II	1,90	0,79	0,80	0,55
	CaCl ₂	I	-0,25	1,10	0,96	0,20
		II	1,17	0,83	0,91	0,48
		I+II	0,79	0,89	0,91	0,39

Bijlage 17: Zware metalen in akkerbouwgewassen

Tabel B.17.1: *Metaalgehalten (mg.kg⁻¹ droge stof) gewassen* (De Vries et al., 2008 (mediane gehalten); Kool, 2006; Kool & Bosker, z.j.; Nicholson, Chambers, Williams, & Unwin, 1999)

Parameter		Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As
Gewas ¹	Bodemtype	mg.kg ⁻¹ ds							
Aardappel	Zand	0,14	-	-	0,011	-	0,10	-	0,04
	Klei	0,13	-	4,2	0,010	-	0,12	15	0,04
	Veen	-	-	-	-	-	-	-	-
	n.b.	-	2,8	-	-	3,8	-	-	-
Suikerbiet	Zand	0,46	-	-	0,11	-	3,2	-	0,17
	Klei	0,61	-	9,5	0,075	-	3,3	85	0,24
	Veen	-	-	-	-	-	-	-	-
	n.b.	-	1,44	-	-	0,60	-	-	-
Tarwe	Zand	-	-	-	-	-	-	-	-
	Klei	0,10	-	5,2	0,003	-	0,18	50	0,03
	Veen	-	-	-	-	-	-	-	-
	n.b.	-	0,26	-	-	<1	-	-	-
Mais	Zand	0,23	-	-	0,015	-	2,1	-	0,14
	Klei	0,30	-	4,1	0,010	-	1,6	66	0,08
	Veen	-	-	-	-	-	-	-	-
	n.b.	-	0,26	-	-	0,87	-	-	-

¹ Droge stof gehalte: Aardappel = 24%, Suikerbiet = 25%, Tarwe = 85%, Mais = 60%

Bijlage 17: Zware metalen in akkerbouwgewassen (vervolg)

Tabel B.17.2: *Metaalgehalten (mg.kg^{-1} droge stof) gewassen (afgeleid op basis van tabel B.17.1)*

Parameter		Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As
Gewas ¹	Bodemtype	mg.kg^{-1} ds							
Aardappel	-	0,15	3,0	4,0	0,010	4,0	0,10	15	0,05
Suikerbiet	-	0,55	1,5	10,0	0,10	0,60	3,5	85	0,20
Tarwe	-	0,10	0,25	5,0	0,005	1,0	0,20	50	0,05
Mais	-	0,25	0,25	4,0	0,015	0,90	2,0	65	0,10

¹ Droge stof gehalte: Aardappel = 24%, Suikerbiet = 25%, Tarwe = 85%, Mais = 60%

Bijlage 18: Modelcoëfficiënten voor het vaststellen van de bioconcentratiefactor voor lood

Tabel B.18.1: *Modelcoëfficiënten voor het berekenen van de bioconcentratiefactor voor lood op basis van het loodgehalte in de bodem ($R^2 = 0,55$ en $se-y_{est} = 0,41$) (Otte et al., 2011)*

Gewas	δ_0	δ_1
Aardappel	-1,511	-0,6859
Suikerbiet	0,318	-0,9049
Tarwe	-1,392	-0,5541
Mais	0,178	-1,1759

Tabel B.18.2: *Range van de database welke is gebruikt voor het afleiden van de modelcoëfficiënten voor de relatie tussen het loodgehalte in de bodem($mg.kg^{-1}$ ds) en de bioconcentratiefactor (-) in tabel B.18.1 (Otte et al., 2011)*

Gewas	Parameter	Eenheid	n	Min.	P5	P50	Gem.	P95	Max.
Aardappel	Pb _{Bodem}	mg.kg ⁻¹ ds	204	6,0	12,7	35,0	57,8	231,3	297,0
	Pb _{Gewas}	mg.kg ⁻¹ ds	204	0,01	0,01	0,10	0,14	0,34	1,12
Suikerbiet	Pb _{Bodem}	mg.kg ⁻¹ ds	115	3,3	13,0	41,0	77,7	257,5	415,0
	Pb _{Gewas}	mg.kg ⁻¹ ds	115	0,05	1,83	3,20	3,40	5,98	10,80
Tarwe	Pb _{Bodem}	mg.kg ⁻¹ ds	127	6,0	11,0	28,0	56,4	214,7	325,0
	Pb _{Gewas}	mg.kg ⁻¹ ds	127	0,04	0,06	0,18	0,33	1,23	2,60

Bijlage 19: Zware metalen in bloembolgewassen

Tabel B.19.1: *Zware metalen (mg.kg^{-1} droge stof) in diverse stromen van de bloembollenteelt (Belder, 2011)*

Metaal	Tulp
	mg.kg^{-1} ds
Arseen	<3,0
Cadmium	<0,1
Chroom	<10
Koper	6,9
Kwik	<0,05
Nikkel	<3,0
Lood	<5,0
Zink	31,1
Droge stof ²	346

¹ De analyse is uitgevoerd op bollen, huiden en pelresten

² Analyseresultaat in g.kg^{-1} product

Bijlage 20: Kenmerken van bodemtypen

Tabel B.20.1: *Mediane gehalten van zware metalen (mg.kg^{-1} ds) lutum, organische stof (% van de droge stof) en zuurgraad (pH-CaCl_2) in/van de Nederlandse bodem (Mol, Spijker, Van Gaans, & Römkens, 2012)*

Parameter	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As	L ⁷	OM ⁸	pH ⁹
Bodemtype	mg.kg^{-1} ds								%		-
Zand	0,194	21,0	7,21	0,0362	1,55	17,4	19,5	2,66	6,6 ⁵	4,72	4,74
Zand-kalkrijk	0,194	21,0	7,21	0,0362	1,55	17,4	19,5	2,66	2 ⁶	1,1 ³	6,93 ⁴
Mar. klei ¹	0,324	71,7	15,2	0,0665	23,7	29,5	77,4	14,8	27 ⁵	5,44	7,05
Fluv. Klei ²	0,521	75,3	28,5	0,0617	32,4	45,8	121	14,7	27 ⁵	7,07	5,93
Löss	0,818	76,5	13,4	0,0650	18,0	34,8	97,1	9,48	15 ⁶	3,61	6,53
Veen	0,612	44,1	16,3	0,164	17,2	62,2	67,4	10,9	16 ⁵	25,0	4,66

¹ Mariene klei

² Fluviatiele klei

³ Bokhorst et al., 2008

⁴ Bokhorst et al., 2008; Smolders et al., 2007 (betreft gemiddelde waarden)

⁵ De Vries et al., 2004

⁶ P.F.A.M. Römkens, persoonlijke communicatie, 23 juli 2014

⁷ Lutum

⁸ Organische stof

⁹ pH-CaCl_2

Bijlage 21: Bemestingsscenario's akkerbouw

Tabel B.21.1: Scenario's t.b.v. doorrekening metaalbalansen akkerbouw

No.	Bodemtype	Meststof P205 Basis	Meststof N Aanvullend	Meststof P205 Aanvullend
A-1	Zand, Mariene klei, Fluviatiele klei	Dunne varkensmest	Kalkammonsalpeter	Kunstmest P
B-1	Zand, Mariene klei, Fluviatiele klei	Kunstmest P	Kalkammonsalpeter	-
B-2	Zand, Mariene klei, Fluviatiele klei	Kunstmest P (concept-grenswaarden)	Kalkammonsalpeter (concept-grenswaarden)	-
C-1	Zand, Mariene klei, Fluviatiele klei	Mineralenconcentraat varkensdrijfmest (dierlijke mest)	Kalkammonsalpeter	Kunstmest P
D-1	Zand, Mariene klei, Fluviatiele klei	Dunne varkensmest	Mineralenconcentraat varkensdrijfmest (EG-meststof)	Kunstmest P
D-2	Zand, Mariene klei, Fluviatiele klei	Dunne varkensmest	Mineralenconcentraat varkensdrijfmest (concept-grenswaarden)	Kunstmest P
E-1	Zand, Mariene klei, Fluviatiele klei	Dunne fractie varkensdrijfmest	Kalkammonsalpeter	Kunstmest P
E-2	Zand, Mariene klei, Fluviatiele klei	Dunne fractie varkensdrijfmest	Kalkammonsalpeter (concept grenswaarden)	Kunstmest P
F-1	Zand, Mariene klei, Fluviatiele klei	Digestaat	Kalkammonsalpeter	Kunstmest P
F-2	Zand, Mariene klei, Fluviatiele klei	Digestaat (concept grenswaarden)	Kalkammonsalpeter	Kunstmest P
F-3	Zand, Mariene klei, Fluviatiele klei	Digestaat (concept grenswaarden)	Kalkammonsalpeter (concept grenswaarden)	Kunstmest P (concept-grenswaarden) Kunstmest P
G-1	Zand, Mariene klei, Fluviatiele klei	Zuiveringsslib	Kalkammonsalpeter	Kunstmest P (concept-grenswaarden) Kunstmest P
G-2	Zand, Mariene klei, Fluviatiele klei	Zuiveringsslib	Kalkammonsalpeter (concept grenswaarden)	Kunstmest P (concept-grenswaarden) Kunstmest P
H-1	Zand, Mariene klei, Fluviatiele klei	Dikke fractie varkensdrijfmest	Kalkammonsalpeter	Kunstmest P

Bijlage 22: Bemestingsscenario's bloembollenteelt

Tabel B.22.1: Scenario's t.b.v. doorrekening metaalbalansen bloembollenteelt

No.	Bodemtype	Meststof P Basis	Meststof N Aanvullend	Meststof P Aanvullend
K-1	Zand - kalkrijk	GFT-compost	Kalkammonsalpeter	Kunstmest P
L-1	Zand - kalkrijk	Vaste rundveestalmest	Kalkammonsalpeter	Kunstmest P
M-1	Zand - kalkrijk	GFT-compost (grenswaarden huidig)	Kalkammonsalpeter	Kunstmest P
M-2	Zand - kalkrijk	GFT-compost (concept-grenswaarden)	Kalkammonsalpeter	Kunstmest P
M-3	Zand - kalkrijk	GFT-compost (concept-grenswaarden)	Kalkammonsalpeter (concept-grenswaarden)	Kunstmest P (concept-grenswaarden)
N-1	Zand - kalkrijk	Vaste rundveestalmest	Kalkammonsalpeter (concept-grenswaarden)	Kunstmest P (concept-grenswaarden)
O-1	Zand - kalkrijk	Zuiveringsslib	Kalkammonsalpeter	Kunstmest P

Bijlage 23: Totale toevoer zware metalen akkerbouw (1)

Tabel B.23.1: Jaargemiddelde zware metalen belasting van de bodem ($\text{g} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jaar}^{-1}$) op basis van atmosferische depositie en de aanvoer via meststoffen en bodemverbeteraars (inclusief kalk)^{1, 2, 3}

Scenario	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As
A-1 (=ref.)	1,2	16	604	0,57	21	29	1.464	27
B-1	4,1	21	28	0,43	20	30	163	49
B-2	19	X	X	2,4	128	167	X	63
C-1	3,7	19	41	0,38	14	19	174	19
D-1	1,2	16	613	0,53	17	20	1.475	4,4
D-2	2,7	X	X	1,5	78	96	X	35
E-1	3,9	22	46	0,48	25	23	195	20
E-2	4,6	X	X	0,97	53	56	X	20
F-1	2,3	47	397	0,88	36	46	1.034	37
F-2	5,5	321	653	3,5	167	401	1.986	X
F-3	6,7	X	X	4,3	213	455	X	X
G-1	2,0	45	424	1,1	44	139	1.080	52
G-2	4,0	X	X	2,4	118	226	X	52
H-1	1,2	13	544	0,58	23	34	1.614	43

¹ Uitgangspunten: zandgrond, neutrale fosfaattoestand ($\text{Pw}=45 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$), gebruiksnorm voor dierlijke meststoffen, gebruiksnorm voor fosfaat (suikerbiet, zomertarwe), adviesnorm fosfaat (aardappel, mais), adviesnorm voor stikstof, geen derogatie.

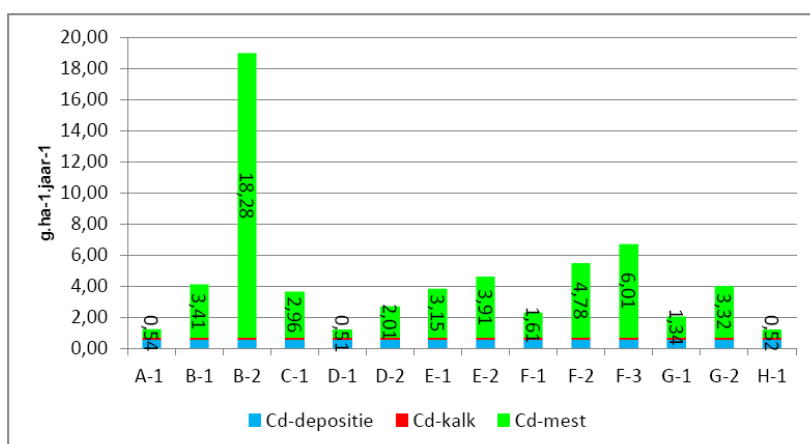
² De gele en rode arcering geven aan dat er ten opzichte van de referentie (scenario A-1) sprake is van een verhoogde belasting (geel = +10 t/m +50% (lichte verhoging) en rood = > +50% (sterke verhoging)). De belasting wordt als gelijk aan de referentie verondersteld in het geval de afwijking maximaal + 10% betreft. Bij gelijke of lagere belasting is het getal groen gearceerd.

³ In het geval van een blauwe arcering is voor het betreffende metaal in een of meerdere meststoffen van het betreffende bemestingsscenario geen grenswaarde beschikbaar, waardoor de totale belasting met zware metalen niet is vast te stellen.

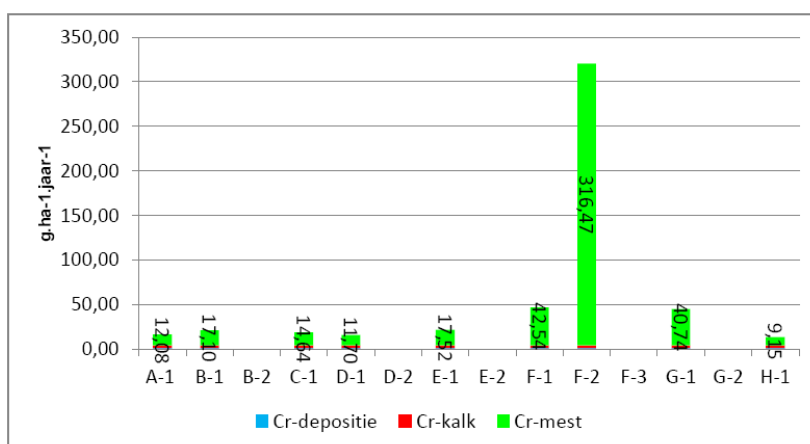
Bijlage 23: Totale toevoer zware metalen akkerbouw (2)

Opmerkingen:

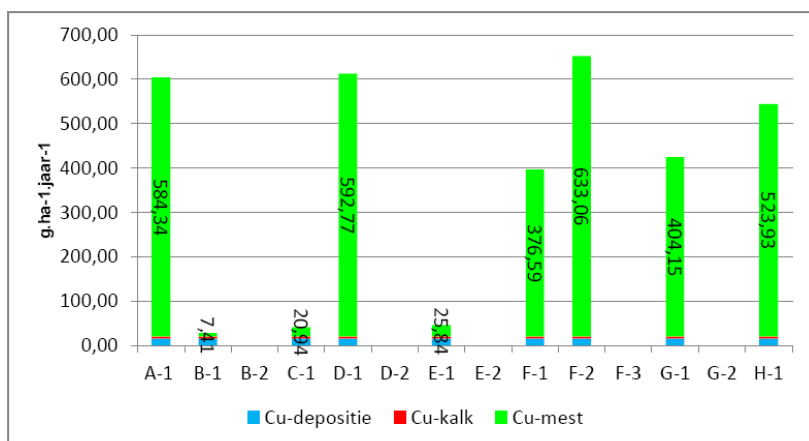
- De getallen in de verticale kolommen betreffen enkel de zware metalen vracht als gevolg van het toedienen van de meststoffen en bodemverbeteraars. Het aandeel van de atmosferische depositie en de kalk is daarin niet meegenomen.
- De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd: zandgrond, neutrale fosfaattoestand ($P_w=45 \text{ mg.l}^{-1}$), gebruiksnorm voor dierlijke meststoffen, gebruiksnorm voor fosfaat (suikerbiet, zomertarwe), adviesnorm fosfaat (aardappel, mais), adviesnorm voor stikstof, geen derogatie.
- In het geval dat bij bemestingsscenario's met concept-grenswaarden voor zware metalen een grenswaarde ontbreekt is de vrachtberekening niet uitgevoerd. De belasting voor het betreffende zware metaal ontbreekt dan ook in de onderstaande grafieken.



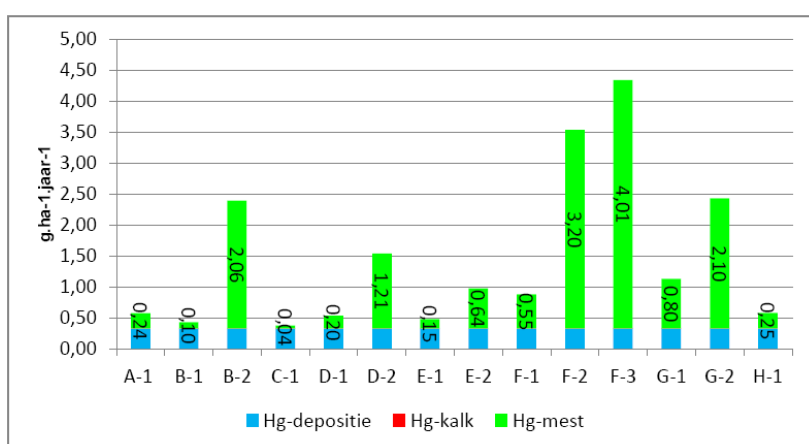
Figuur B.23.1: Jaargemiddelde cadmiumbelasting van de bodem ($\text{g.ha}^{-1}.\text{jaar}^{-1}$)



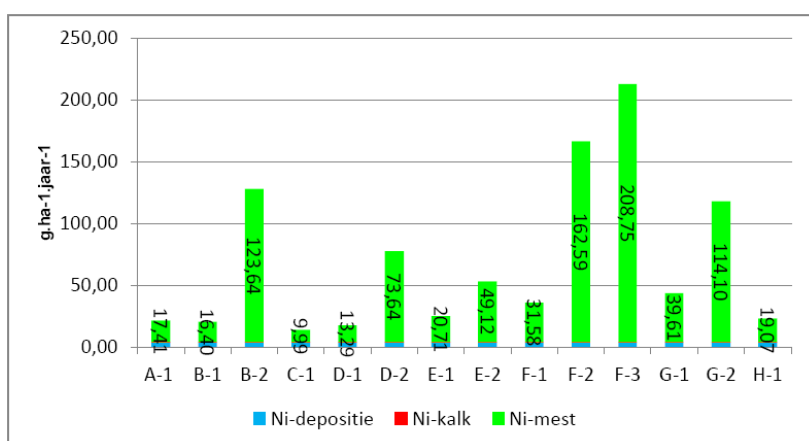
Figuur B.23.2: Jaargemiddelde chroombelasting van de bodem ($\text{g.ha}^{-1}.\text{jaar}^{-1}$)



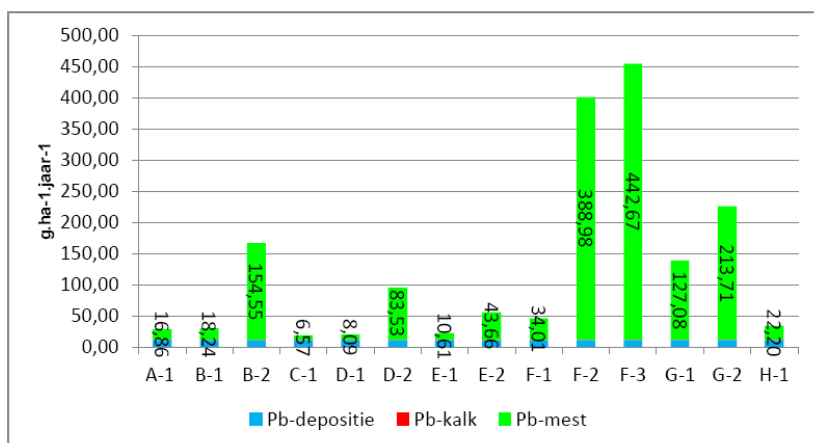
Figuur B.23.3: Jaargemiddelde koperbelasting van de bodem ($\text{g.ha}^{-1}.\text{jaar}^{-1}$)



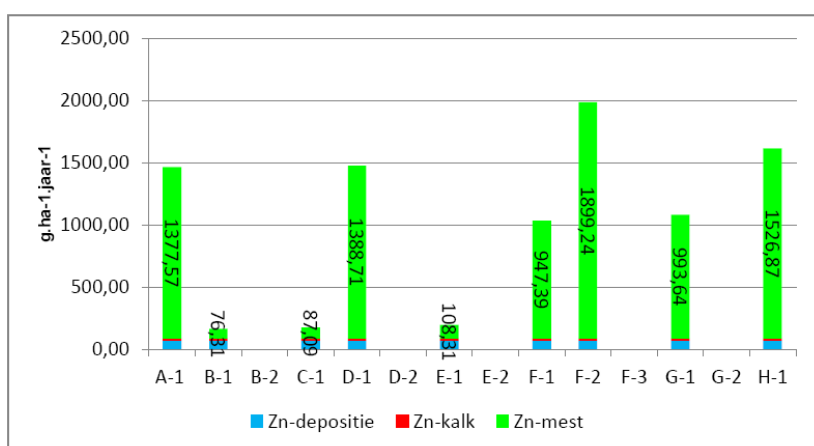
Figuur B.23.4: Jaargemiddelde kwikbelasting van de bodem ($\text{g.ha}^{-1}.\text{jaar}^{-1}$)



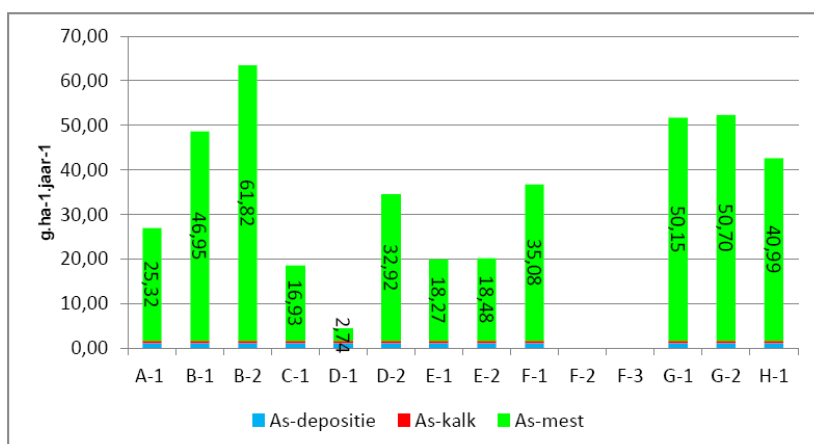
Figuur B.23.5: Jaargemiddelde nikkelbelasting van de bodem ($\text{g.ha}^{-1}.\text{jaar}^{-1}$)



Figuur B.23.6: Jaargemiddelde loodbelasting van de bodem ($\text{g.ha}^{-1}.\text{jaar}^{-1}$)



Figuur B.23.7: Jaargemiddelde zinkbelasting van de bodem ($\text{g.ha}^{-1}.\text{jaar}^{-1}$)



Figuur B.23.8: Jaargemiddelde arseenbelasting van de bodem ($\text{g.ha}^{-1}.\text{jaar}^{-1}$)

Bijlage 24: Totale toevoer zware metalen bloembollenteelt (1)

Tabel B.24.1: Jaargemiddelde zware metalen belasting van de bodem ($\text{g} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jaar}^{-1}$) op basis van atmosferische depositie en de aanvoer via meststoffen en bodemverbeteraars (inclusief kalk)^{1, 2, 3}

Scenario	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As
K-1 (=ref. 1)	9,9	397	912	1,8	223	1.144	3.616	111
L-1 (=ref. 2)	1,5	30	188	0,72	39	92	990	38
M-1 ⁴	19	895	1.623	5,7	365	1.802	5.252	299
M-2 ⁴	27	1.783	3.578	18	899	2.158	10.763	X
M-3 ⁴	29	X	X	19	955	2.223	X	X
N-1 ⁵	2,9	X	X	1,6	91	153	X	X
O-1 ⁴	2,2	50	467	1,2	46	148	1.187	45
O-1 ⁵	2,2	50	467	1,2	46	148	1.187	45

¹ Uitgangspunten: kalkrijke zandgrond, lage fosfaattoestand ($\text{Pw}=25 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$), gebruiksnorm voor dierlijke meststoffen, gebruiksnorm voor fosfaat en adviesnorm voor stikstof, geen derogatie.

² De gele en rode arcering geven aan dat er ten opzichte van de referentie (scenario K-1 of L-1) sprake is van een verhoogde belasting (geel = +10 t/m +50% (lichte verhoging) en rood = > +50% (sterke verhoging)). De belasting wordt als gelijk aan de referentie verondersteld in het geval de afwijking maximaal + 10% betreft. Bij gelijke of lagere belasting is het getal groen gearceerd.

³ In het geval van een blauwe arcering is voor het betreffende metaal in een of meerdere meststoffen van het betreffende bemestingsscenario geen grenswaarde beschikbaar, waardoor de totale belasting met zware metalen niet is vast te stellen.

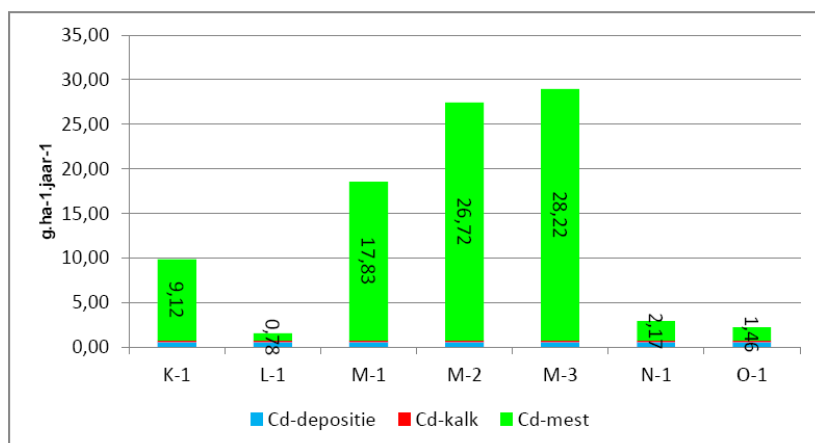
⁴ Toetsing ten opzichte van referentie K-1

⁵ Toetsing ten opzicht van referentie L-1

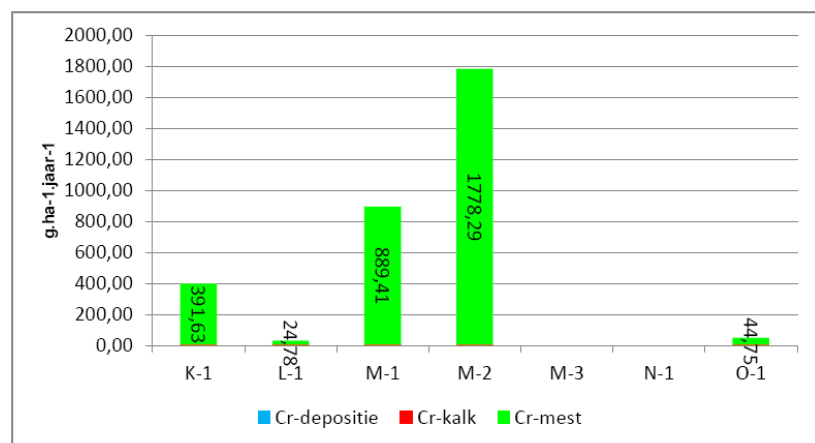
Bijlage 24: Totale toevoer zware metalen bloembollenteelt (2)

Opmerkingen:

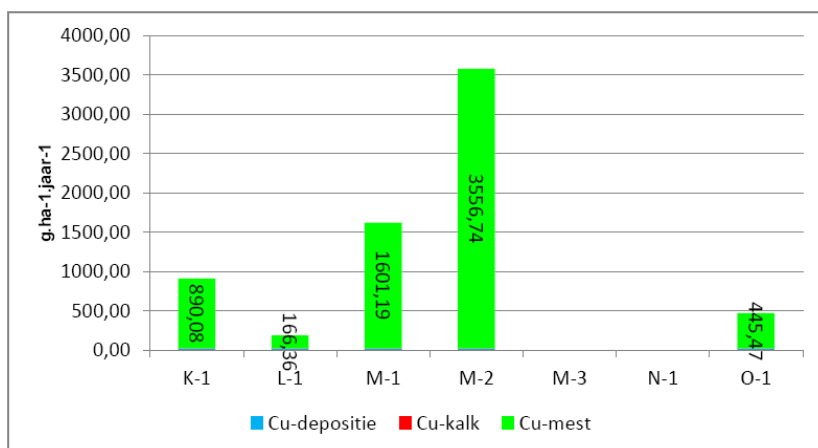
- De getallen in de verticale kolommen betreffen enkel de zware metalen vracht als gevolg van het toedienen van de meststoffen en bodemverbeteraars. Het aandeel van de atmosferische depositie en de kalk is daarin niet meegenomen.
- De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd: kalkrijke zandgrond, lage fosfaattoestand ($P_w=25 \text{ mg.l}^{-1}$), gebruiksnorm voor dierlijke meststoffen, gebruiksnorm voor fosfaat, adviesnorm voor stikstof, geen derogatie.
- In het geval dat bij bemestingsscenario's met concept-grenswaarden voor zware metalen een grenswaarde ontbreekt is de vrachtberekening niet uitgevoerd. De belasting voor het betreffende zware metaal ontbreekt dan ook in de onderstaande grafieken.



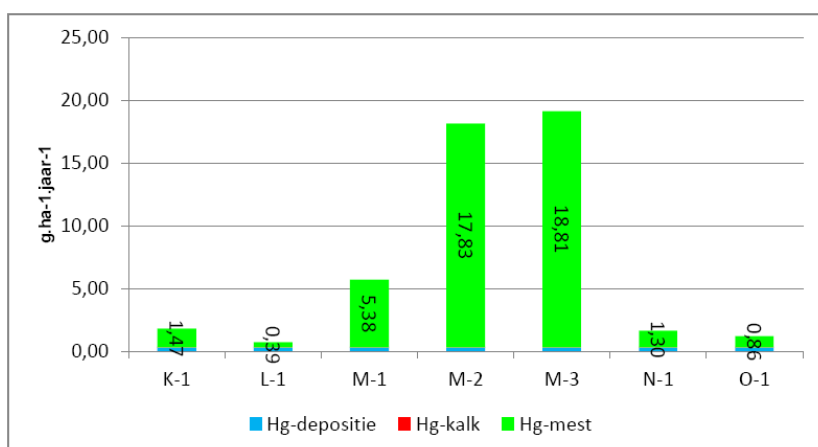
Figuur B.24.1: Jaargemiddelde cadmiumbelasting van de bodem ($\text{g.ha}^{-1}.\text{jaar}^{-1}$)



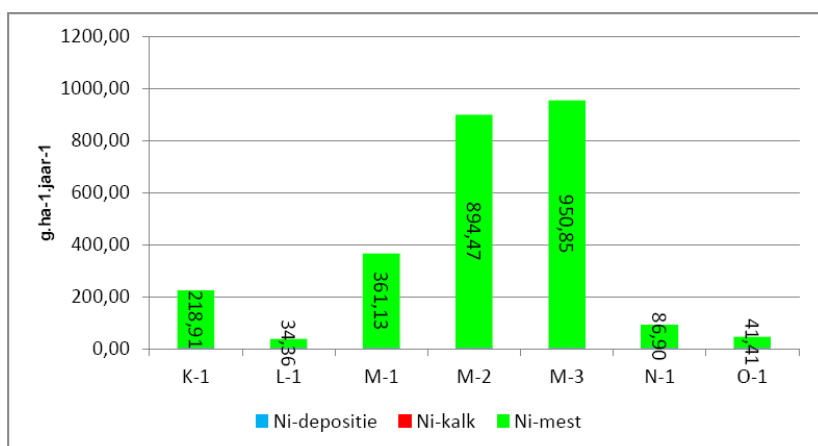
Figuur B.24.2: Jaargemiddelde chroombelasting van de bodem ($\text{g.ha}^{-1}.\text{jaar}^{-1}$)



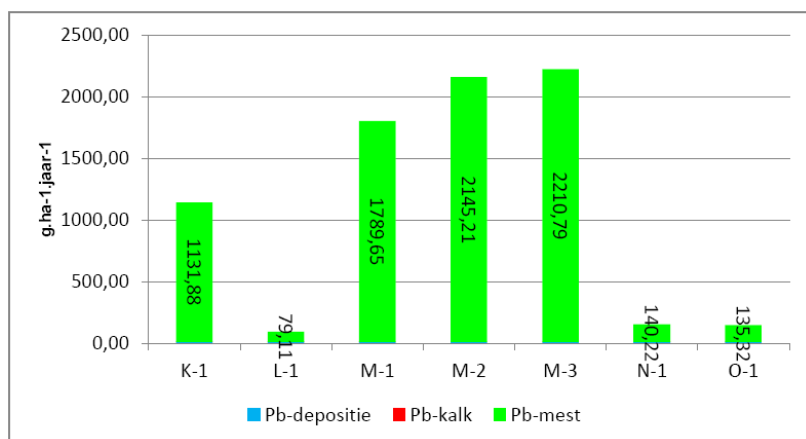
Figuur B.24.3: Jaargemiddelde koperbelasting van de bodem (g.ha⁻¹.jaar⁻¹)



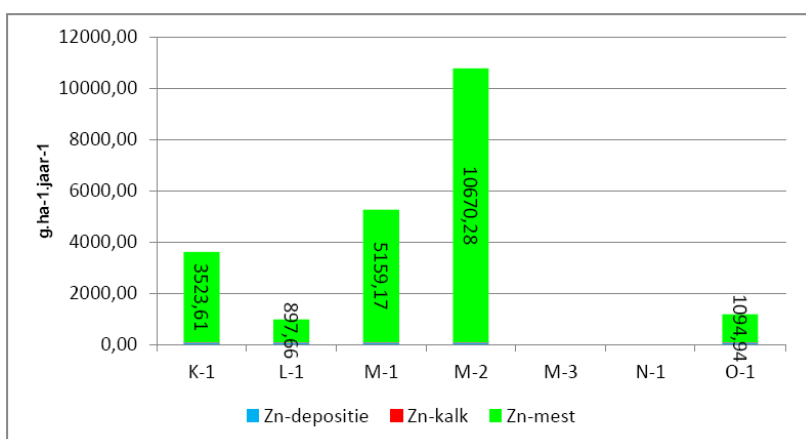
Figuur B.24.4: Jaargemiddelde kwikbelasting van de bodem (g.ha⁻¹.jaar⁻¹)



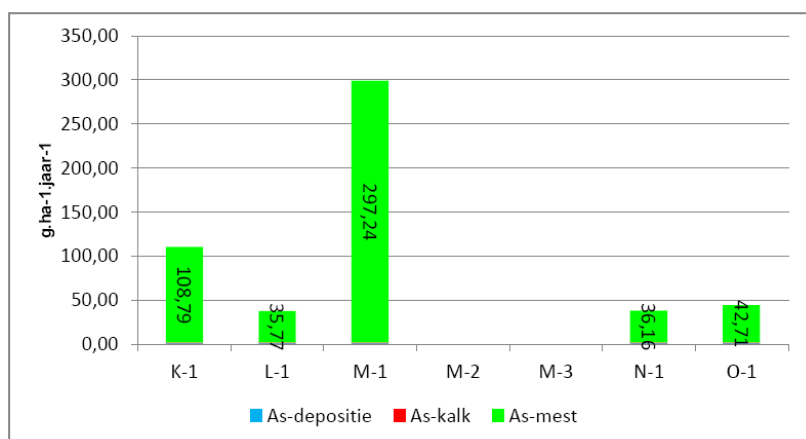
Figuur B.24.5: Jaargemiddelde nikkelbelasting van de bodem (g.ha⁻¹.jaar⁻¹)



Figuur B.24.6: Jaargemiddelde loodbelasting van de bodem ($\text{g.ha}^{-1}.\text{jaar}^{-1}$)



Figuur B.24.7: Jaargemiddelde zinkbelasting van de bodem ($\text{g.ha}^{-1}.\text{jaar}^{-1}$)



Figuur B.24.8: Jaargemiddelde arseenbelasting van de bodem ($\text{g.ha}^{-1}.\text{jaar}^{-1}$)

Bijlage 25: Modelresultaten van de scenario-berekeningen akkerbouw (Zand)

Modelresultaten van de scenario-berekeningen akkerbouw

Scenario	Metaal	Steady state bodem	Metaalgehalte bodem (mg.kg-1 ds)			Metaalconc. bodemvocht (mg.m-3)		Metaalgehalte gewas (mg.kg-1 ds)		Suikerbiet		Zomertarwe		Mais	
			Jaar	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state
A-1	Cadmium	1.000		0,11	0,04	0,35	0,09	0,07	0,03	0,45	0,24	0,07	0,04	0,05	0,02
	Chroom	5.000		21	17	1,7	1,6	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
	Koper	3.200		21	129	25	151	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
	Kwik														
	Lood	5.000		17	6,0	9,2	4,2	0,08	0,05	2,7	2,5	0,14	0,09	2,0	2,0
	Nikkel	2.600		1,4	0,79	2,3	1,3	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
	Zink	500		36	44	198	264	15	15	69	87	36	39	36	42
	Arseen	5.000		3,3	30	1,0	2,6	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
B-1	Cadmium	600		0,17	0,15	0,61	0,52	0,09	0,09	0,58	0,55	0,09	0,08	0,07	0,07
	Chroom	4		21	21	1,7	1,7	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
	Koper	500		5,4	0	6,3	0	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
	Kwik														
	Lood	5.000		17	6,7	9,2	4,6	0,08	0,06	2,7	2,5	0,14	0,10	2,0	2,0
	Nikkel	2.800		1,4	0,61	2,3	1,0	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
	Zink	900		11	5,0	44	14	15	15	19	7,4	22	15	14	7,2
	Arseen	5.000		3,9	58	1,1	3,5	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
B-2	Cadmium	600		0,47	0,64	2,3	3,6	0,21	0,27	1,1	1,3	0,17	0,20	0,22	0,31
	Chroom	4		21	21	1,7	1,7	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
	Koper	500		5,4	0	6,3	0	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
	Kwik														
	Lood	5.000		21	99	11	35	0,08	0,13	2,8	3,2	0,16	0,31	2,0	2,0
	Nikkel	2.600		4,3	20	6,7	31	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
	Zink	900		11	5,0	44	14	15	15	19	7,4	22	15	14	7,2
	Arseen	5.000		4,4	78	1,2	4,0	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
C-1	Cadmium	600		0,16	0,14	0,57	0,45	0,09	0,08	0,57	0,51	0,09	0,08	0,07	0,06
	Chroom	4		21	21	1,7	1,7	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
	Koper	700		5,8	0	6,7	0,02	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
	Kwik														
	Lood	5.000		17	1,5	9,1	1,5	0,07	0,04	2,7	2,2	0,14	0,05	2,0	2,0
	Nikkel	800		1,2	0	2,0	0	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
	Zink	900		12	5,4	45	16	15	15	19	8,1	22	15	14	7,7
	Arseen	5.000		3,1	19	1,0	2,2	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
D-1	Cadmium	1.000		0,11	0,04	0,35	0,08	0,07	0,03	0,45	0,24	0,07	0,04	0,05	0,02
	Chroom	5.000		21	16	1,7	1,6	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
	Koper	3.200		21	131	25	153	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
	Kwik														
	Lood	5.000		17	2,1	9,1	1,8	0,07	0,04	2,8	2,2	0,14	0,06	2,0	2,0
	Nikkel	4.400		1,3	0,06	2,2	0,10	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
	Zink	500		36	45	200	266	15	15	69	88	36	40	36	42
	Arseen	4		2,7	2,7	0,93	0,93	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
D-2	Cadmium	800		0,14	0,10	0,48	0,29	0,08	0,06	0,52	0,42	0,08	0,06	0,06	0,04
	Chroom	5.000		21	16	1,7	1,6	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
	Koper	3.200		21	131	25	153	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
	Kwik														
	Lood	5.000		19	47	10	20	0,08	0,10	2,8	3,0	0,15	0,23	2,0	2,0
	Nikkel	2.600		3,0	11	4,7	17	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
	Zink	500		36	45	200	266	15	15	69	88	36	40	36	42
	Arseen	5.000		3,5	40	1,1	3,0	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
E-1	Cadmium	600		0,17	0,14	0,59	0,48	0,09	0,08	0,57	0,52	0,09	0,08	0,07	0,06
	Chroom	5.000		21	24	1,7	1,8	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
	Koper	800		5,9	0	6,9	0,01	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
	Kwik														
	Lood	5.000		16	3,1	9,1	2,6	0,08	0,04	2,7	2,3	0,14	0,07	2,0	2,0
	Nikkel	1.300		1,5	1,4	2,5	2,3	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
	Zink	800		12	6,3	47	19	15	15	20	9,5	22	16	15	8,7
	Arseen	5.000		3,1	21	1,0	2,3	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10

Afronding

<1 2 decimalen
<10 1 decimaal
≥10 heel getal

In het geval dat er sprake is van het ontbreken van een grenswaarde voor een metaal in een meststof/bodemverbeteraar is als alternatief voor het betreffende metaal de concentratie en het gehalte van de metaalbalansberekening van het bovenliggende scenario overgenomen.

Bijlage 25: Modelresultaten van de scenario-berekeningen akkerbouw (Zand) (vervolg)

Modelresultaten van de scenario-berekeningen akkerbouw

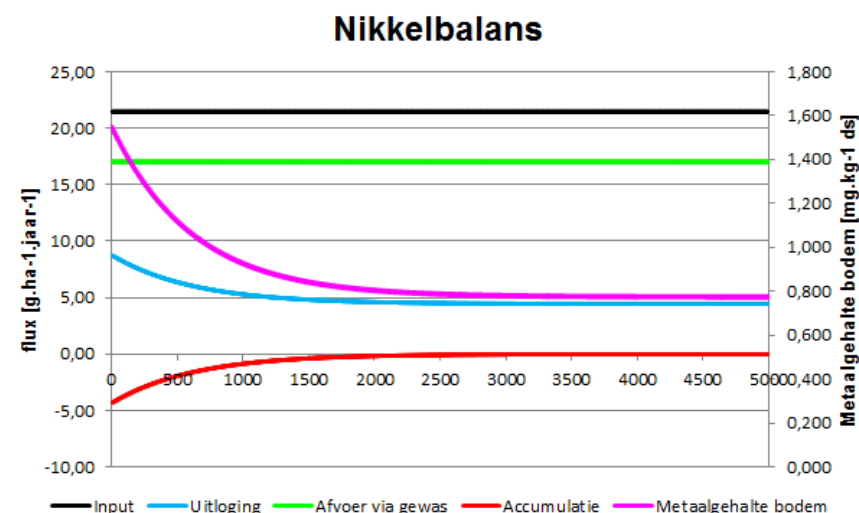
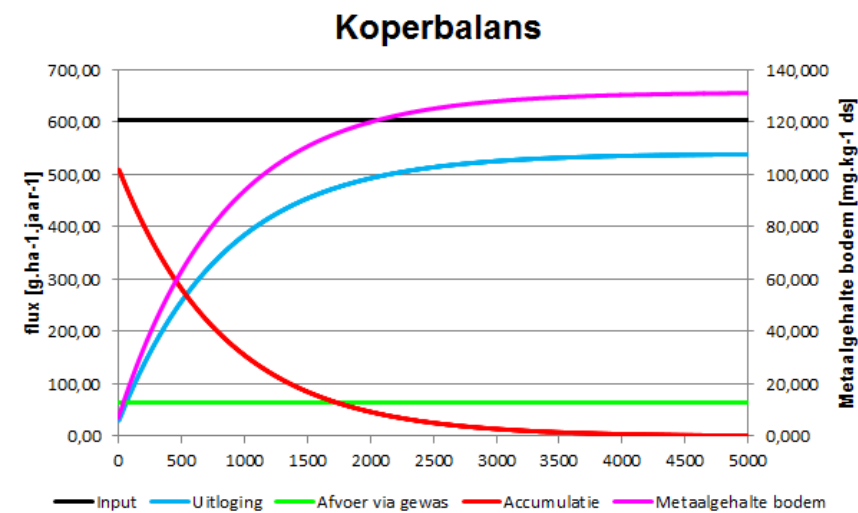
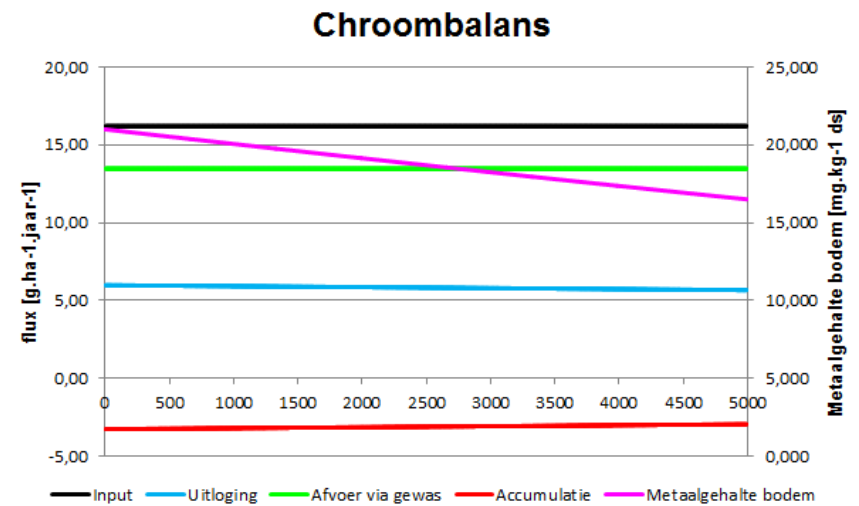
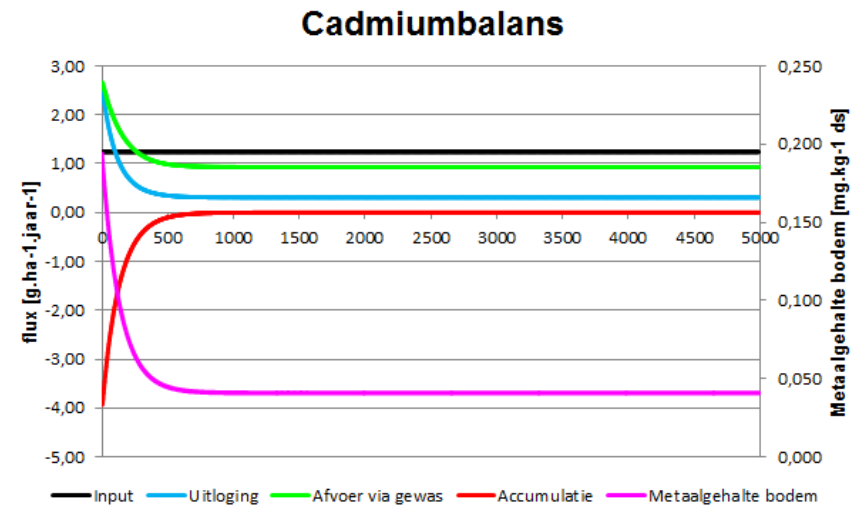
Scenario	Metaal	Steady state bodem	Metaalgehalte bodem		Metaalconc. bodemvocht		Metaalgehalte gewas		Suikerbiet		Zomertarwe		Mais	
			(mg.kg-1 ds)		(mg.m-3)		(mg.kg-1 ds)							
Zand		Jaar	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state	Aardappel 100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state
E-2	Cadmium	500	0,18	0,17	0,66	0,61	0,10	0,09	0,61	0,59	0,09	0,09	0,08	0,07
	Chroom	5.000	21	24	1,7	1,8	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
	Koper	800	5,9	0	6,9	0,01	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
	Kwik													
	Lood	2.900	18	20	9,5	11	0,08	0,08	2,7	2,8	0,15	0,16	2,0	2,0
	Nikkel	2.500	2,3	6,5	3,6	10	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
	Zink	800	12	6,3	47	19	15	15	20	9,5	22	16	15	8,7
	Arseen	5.000	3,1	21	1,0	2,3	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
F-1	Cadmium	800	0,14	0,08	0,44	0,23	0,08	0,05	0,50	0,37	0,08	0,06	0,06	0,03
	Chroom	5.000	22	59	1,7	2,2	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
	Koper	3.200	16	79	18	93	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
	Kwik													
	Lood	2.200	17	16	9,4	8,8	0,08	0,07	2,7	2,7	0,15	0,14	2,0	2,0
	Nikkel	2.200	1,8	3,3	2,9	5,2	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
	Zink	500	28	33	143	177	15	15	52	62	32	34	29	33
	Arseen	5.000	3,6	43	1,1	3,1	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
F-2	Cadmium	300	0,20	0,20	0,75	0,77	0,11	0,11	0,64	0,65	0,10	0,10	0,09	0,09
	Chroom	5.000	30	452	1,9	3,4	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
	Koper	3.200	23	140	26	165	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
	Kwik													
	Lood	5.000	27	291	13	81	0,09	0,18	2,9	3,6	0,18	0,51	2,0	2,0
	Nikkel	2.700	5,3	28	8,3	42	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
	Zink	500	45	57	270	373	15	15	89	117	40	44	43	52
	Arseen	5.000	3,6	43	1,1	3,1	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
F-3	Cadmium	500	0,22	0,25	0,87	1,0	0,12	0,13	0,69	0,73	0,11	0,11	0,10	0,11
	Chroom	5.000	30	452	1,9	3,4	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
	Koper	3.200	23	140	26	165	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
	Kwik													
	Lood	5.000	29	337	14	90	0,09	0,19	2,9	3,6	0,18	0,54	2,0	2,0
	Nikkel	2.700	6,6	36	10	55	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
	Zink	500	45	57	270	373	15	15	89	117	40	44	43	52
	Arseen	5.000	3,6	43	1,1	3,1	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
G-1	Cadmium	800	0,13	0,07	0,42	0,19	0,07	0,05	0,49	0,34	0,08	0,05	0,05	0,03
	Chroom	5.000	22	57	1,7	2,1	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
	Koper	3.200	16	86	19	101	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
	Kwik													
	Lood	5.000	20	78	10	30	0,08	0,12	2,8	3,1	0,15	0,28	2,00	2,00
	Nikkel	2.400	2,0	4,8	3,3	7,5	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
	Zink	500	29	34	148	186	15	15	54	65	33	35	30	34
	Arseen	5.000	4,0	63	1,1	3,6	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
G-2	Cadmium	600	0,17	0,15	0,60	0,51	0,09	0,08	0,58	0,54	0,09	0,08	0,07	0,06
	Chroom	5.000	22	57	1,7	2,1	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
	Koper	3.200	16	86	19	101	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
	Kwik													
	Lood	5.000	22	145	11	47	0,08	0,15	2,8	3,3	0,16	0,37	2,0	2,0
	Nikkel	2.600	4,0	18	6,3	28	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
	Zink	500	29	34	148	186	15	15	54	65	33	35	30	34
	Arseen	5.000	4,0	63	1,1	3,6	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
H-1	Cadmium	1.000	0,11	0,04	0,35	0,09	0,07	0,03	0,45	0,24	0,07	0,04	0,05	0,02
	Chroom	5.000	21	12	1,7	1,5	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
	Koper	3.200	20	114	23	134	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
	Kwik													
	Lood	5.000	17	8,7	9,3	5,6	0,08	0,06	2,7	2,6	0,14	0,11	2,0	2,0
	Nikkel	2.100	1,5	1,1	2,4	1,8	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
	Zink	500	39	48	218	295	15	15	75	96	37	41	38	45
	Arseen	5.000	3,8	50	1,1	3,3	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10

Afronding

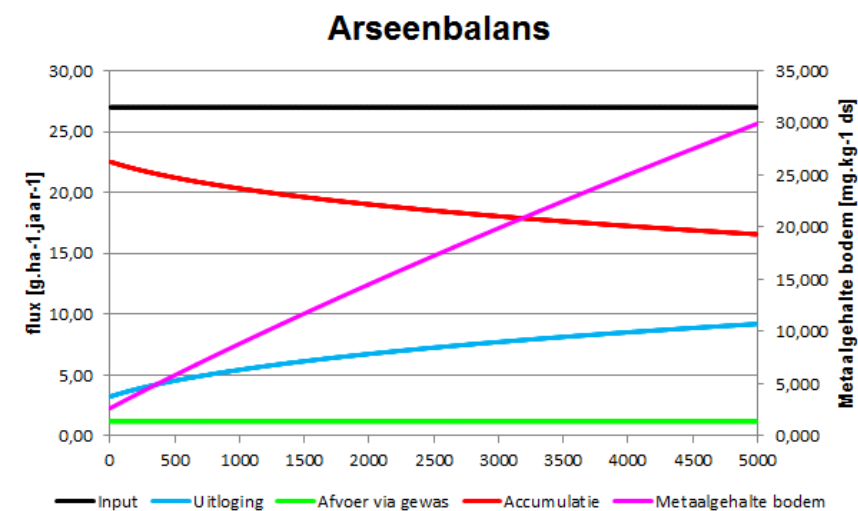
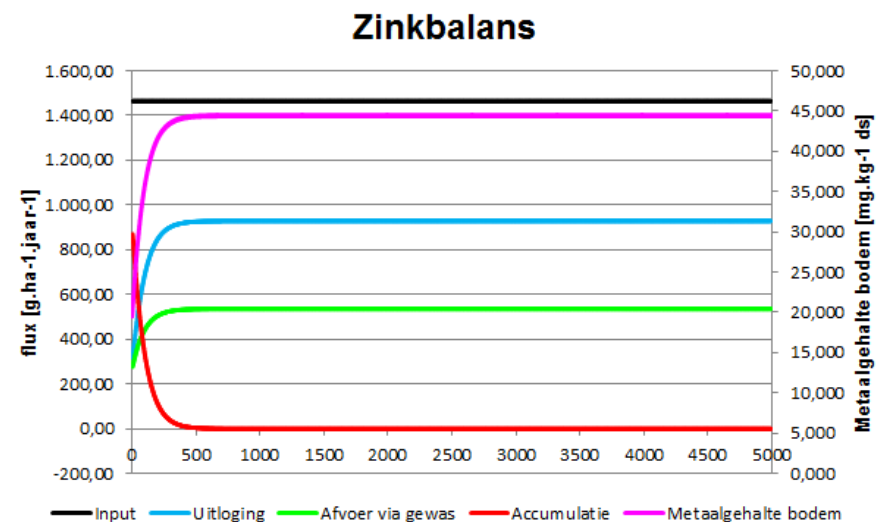
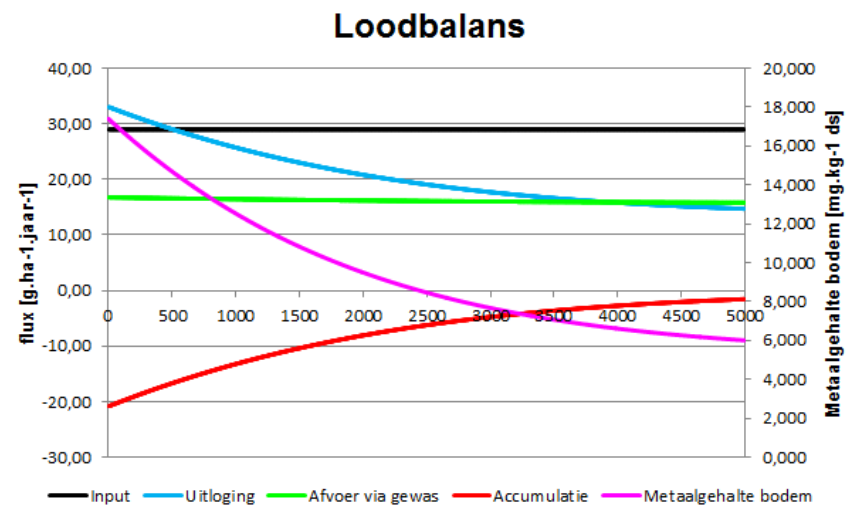
<1 2 decimalen
 <10 1 decimaal
 ≥10 heel getal

In het geval dat er sprake is van het ontbreken van een grenswaarde voor een metaal in een meststof/bodemverbeteraar is als alternatief voor het betreffende metaal de concentratie en het gehalte van de metaalbalansberekening van het bovenliggende scenario overgenomen.

Bijlage 26: Metaalbalansen van scenario A-1 akkerbouw (Zand)



Bijlage 26: Metaalbalansen van scenario A-1 akkerbouw (Zand) (vervolg)



Bijlage 27: Modelresultaten van de scenario-berekeningen akkerbouw (Fluviatiele klei)

Modelresultaten van de scenario-berekeningen akkerbouw

Scenario	Metaal	Steady state bodem	Metaalgehalte bodem (mg.kg-1 ds)			Metaalconc. bodemvocht (mg.m-3)		Metaalgehalte gewas (mg.kg-1 ds)		Suikerbiet		Zomertarwe		Mais	
			Jaar	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state
Fluviatiele klei															
	A-1	Cadmium	2.400	0,45	0,14	0,26	0,06	0,07	0,03	0,48	0,23	0,10	0,05	0,07	0,02
		Chroom	4	75	75	1,5	1,6	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
		Koper	5.000	45	378	16	136	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
		Kwik													
		Lood	1.400	46	44	4,6	4,5	0,10	0,10	3,0	3,0	0,22	0,22	2,0	2,0
		Nikkel	5.000	32	11	7,8	2,7	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
		Zink	1.900	146	264	90	197	15	15	48	92	41	53	46	74
B-1		Arseen	5.000	16	59	1,2	2,2	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
		Cadmium	1.000	0,53	0,58	0,33	0,37	0,08	0,09	0,53	0,56	0,11	0,11	0,09	0,10
		Chroom	4	75	75	1,6	1,6	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
		Koper	1.400	26	0	9,2	0	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
		Kwik													
		Lood	4.200	46	41	4,6	4,2	0,10	0,10	3,0	3,0	0,22	0,21	2,0	2,0
		Nikkel	5.000	32	8,7	7,8	2,2	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
		Zink	5.000	106	23	59	7,6	15	15	33	5,8	35	18	35	10
B-2		Arseen	5.000	16	85	1,2	2,5	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
		Cadmium	1.700	0,99	2,7	0,76	3,0	0,14	0,31	0,78	1,5	0,16	0,29	0,18	0,51
		Chroom	4	75	75	1,6	1,6	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
		Koper	1.400	26	0	9,2	0	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
		Kwik													
		Lood	5.000	50	232	4,9	16	0,11	0,17	3,0	3,5	0,23	0,46	2,0	2,0
		Nikkel	5.000	35	107	8,7	26	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
		Zink	5.000	106	23	59	7,6	15	15	33	5,8	35	18	35	10
C-1		Arseen	5.000	17	109	1,3	2,8	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
		Cadmium	200	0,52	0,52	0,32	0,32	0,08	0,08	0,52	0,52	0,11	0,11	0,09	0,09
		Chroom	4	75	75	1,6	1,6	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
		Koper	1.800	26	0	9,4	0	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
		Kwik													
		Lood	5.000	45	24	4,6	2,9	0,10	0,08	3,0	2,8	0,22	0,17	2,0	2,0
		Nikkel	5.000	31	3,0	7,8	0,78	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
		Zink	3.400	106	26	59	8,9	15	15	33	6,6	35	19	35	11
D-1		Arseen	5.000	15	36	1,20	1,8	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
		Cadmium	2.400	0,44	0,14	0,26	0,05	0,07	0,03	0,47	0,23	0,10	0,05	0,07	0,02
		Chroom	4	75	75	1,5	1,6	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
		Koper	5.000	45	386	16	138	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
		Kwik													
		Lood	5.000	45	26	4,6	3,0	0,10	0,09	3,0	2,8	0,22	0,17	2,0	2,0
		Nikkel	5.000	31	5,8	7,8	1,5	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
		Zink	1.900	147	266	90	200	15	15	48	93	41	53	46	74
D-2		Arseen	4	15	15	1,2	1,2	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
		Cadmium	1.300	0,50	0,44	0,31	0,25	0,08	0,07	0,51	0,47	0,10	0,09	0,08	0,07
		Chroom	4	75	75	1,5	1,6	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
		Koper	5.000	45	386	16	138	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
		Kwik													
		Lood	5.000	49	159	4,8	12	0,10	0,15	3,0	3,4	0,23	0,39	2,0	2,0
		Nikkel	5.000	34	76	8,4	18	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
		Zink	1.900	147	266	90	200	15	15	48	93	41	53	46	74
E-1		Arseen	5.000	16	74	1,2	2,4	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
		Cadmium	600	0,53	0,54	0,32	0,33	0,08	0,08	0,53	0,53	0,11	0,11	0,09	0,09
		Chroom	4	75	75	1,6	1,6	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
		Koper	2.100	26	0	9,4	0	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
		Kwik													
		Lood	5.000	45	30	4,6	3,3	0,10	0,09	3,0	2,9	0,22	0,18	2,0	2,0
		Nikkel	5.000	32	13	7,8	3,2	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
		Zink	3.300	107	30	59	11	15	15	33	7,9	35	20	35	13
Afronding		Arseen	5.000	15	38	1,2	1,8	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
		Cadmium	600	0,53	0,54	0,32	0,33	0,08	0,08	0,53	0,53	0,11	0,11	0,09	0,09
		Chroom	4	75	75	1,6	1,6	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
		Koper	2.100	26	0	9,4	0	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
		Kwik													
		Lood	5.000	45	30	4,6	3,3	0,10	0,09	3,0	2,9	0,22	0,18	2,0	2,0
		Nikkel	5.000	32	13	7,8	3,2	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
		Zink	3.300	107	30	59	11	15	15	33	7,9	35	20	35	13

Afronding

<1 2 decimalen
<10 1 decimaal
≥10 heel getal

In het geval dat er sprake is van het ontbreken van een grenswaarde voor een metaal in een meststof/bodemverbeteraar is als alternatief voor het betreffende metaal de concentratie en het gehalte van de metaalbalansberekening van het bovenliggende scenario overgenomen.

Bijlage 27: Modelresultaten van de scenario-berekeningen akkerbouw (Fluviatiele klei) (vervolg)

Modelresultaten van de scenario-berekeningen akkerbouw

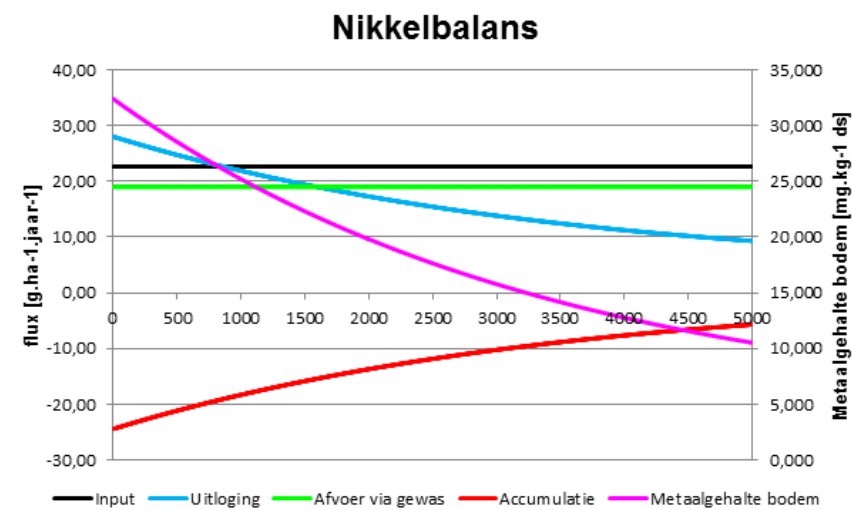
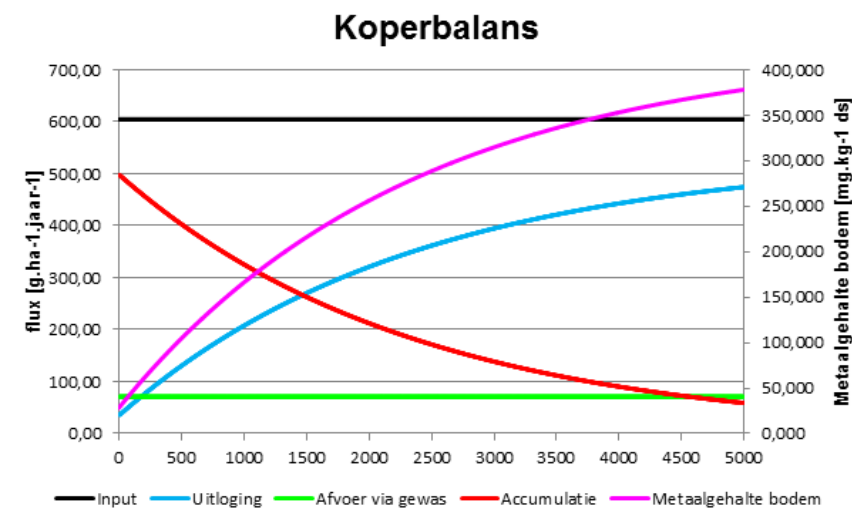
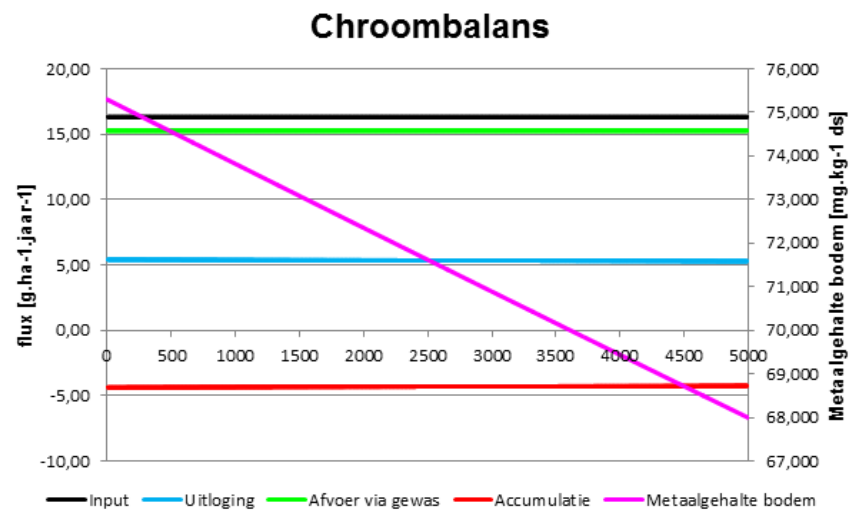
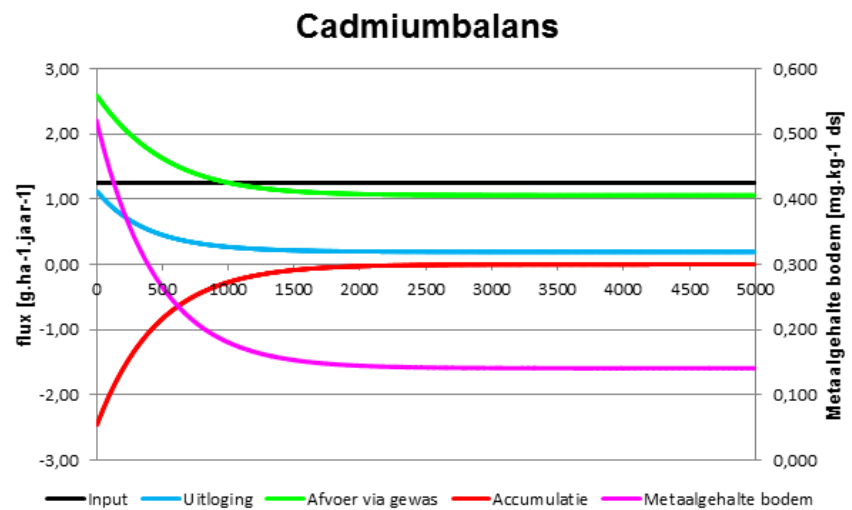
Scenario	Metaal	Steady state bodem	Metaalgehalte bodem (mg.kg-1 ds)			Metaalconc. bodemvocht (mg.m-3)		Metaalgehalte gewas (mg.kg-1 ds) Aardappel		Suikerbiet		Zomertarwe		Mais	
			Jaar	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state
Fluviatiele klei	E-2	Cadmium	1.400	0,55	0,66	0,34	0,44	0,09	0,10	0,54	0,61	0,11	0,12	0,09	0,11
		Chroom	4	75	75	1,6	1,6	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
		Koper	2.100	26	0	9,4	0	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
		Kwik													
		Lood	5.000	47	76	4,7	6,8	0,10	0,12	3,0	3,1	0,23	0,28	2,0	2,0
		Nikkel	3.500	33	38	8,1	9,4	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
		Zink	3.300	107	30	59	11	15	15	33	7,9	35	20	35	13
		Arseen	5.000	15	39	1,2	1,8	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
F-1		Cadmium	1.900	0,48	0,30	0,29	0,15	0,08	0,05	0,50	0,38	0,10	0,08	0,08	0,05
		Chroom	5.000	76	119	1,6	1,7	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
		Koper	5.000	38	232	14	83	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
		Kwik													
		Lood	5.000	46	61	4,6	5,7	0,10	0,11	3,0	3,1	0,22	0,25	2,0	2,0
		Nikkel	5.000	32	22	7,9	5,5	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
		Zink	1.800	133	190	79	127	15	15	43	64	39	46	43	57
		Arseen	5.000	16	65	1,2	2,3	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
F-2		Cadmium	1.600	0,58	0,79	0,37	0,56	0,09	0,11	0,56	0,68	0,11	0,14	0,10	0,14
		Chroom	5.000	85	581	1,6	2,5	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
		Koper	5.000	47	412	17	148	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
		Kwik													
		Lood	5.000	58	572	5,5	32	0,11	0,23	3,1	3,8	0,25	0,69	2,0	2,0
		Nikkel	5.000	36	141	9,0	34	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
		Zink	1.900	163	348	103	286	15	15	54	126	43	60	50	93
		Arseen	5.000	16	65	1,2	2,3	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
F-3		Cadmium	1.700	0,61	0,98	0,40	0,75	0,09	0,14	0,58	0,77	0,12	0,16	0,11	0,17
		Chroom	5.000	85	581	1,6	2,5	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
		Koper	5.000	47	412	17	148	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
		Kwik													
		Lood	5.000	60	654	5,7	35	0,11	0,24	3,1	3,9	0,25	0,73	2,0	2,0
		Nikkel	5.000	38	184	9,3	44	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
		Zink	1.900	163	348	103	286	15	15	54	126	43	60	50	93
		Arseen	5.000	16	65	1,2	2,3	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
G-1		Cadmium	2.000	0,47	0,26	0,28	0,13	0,08	0,05	0,49	0,34	0,10	0,07	0,08	0,04
		Chroom	5.000	76	116	1,6	1,7	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
		Koper	5.000	39	252	14	90	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
		Kwik													
		Lood	5.000	49	191	4,9	14	0,11	0,16	3,0	3,4	0,23	0,42	2,0	2,0
		Nikkel	1.200	32	31	8,0	7,7	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
		Zink	1.800	135	198	80	135	15	15	43	67	39	47	43	59
		Arseen	5.000	16	90	1,2	2,6	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
G-2		Cadmium	1.000	0,53	0,57	0,33	0,36	0,08	0,09	0,53	0,55	0,11	0,11	0,09	0,10
		Chroom	5.000	76	116	1,6	1,7	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
		Koper	5.000	39	252	14	90	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
		Kwik													
		Lood	5.000	52	317	5,1	20	0,11	0,19	3,0	3,6	0,24	0,53	2,0	2,0
		Nikkel	5.000	35	98	8,6	24	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
		Zink	1.800	135	198	80	135	15	15	43	67	39	47	43	59
		Arseen	5.000	16	91	1,20	2,6	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
H-1		Cadmium	2.400	0,45	0,14	0,26	0,05	0,07	0,03	0,47	0,23	0,10	0,05	0,07	0,02
		Chroom	5.000	75	63	1,5	1,5	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
		Koper	5.000	43	336	15	120	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
		Kwik													
		Lood	4	46	46	4,6	4,6	0,10	0,10	3,0	3,0	0,22	0,22	2,0	2,0
		Nikkel	5.000	32	11	7,8	2,8	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
		Zink	1.900	151	288	94	222	15	15	49	102	41	55	47	79
		Arseen	5.000	16	75	1,2	2,4	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10

Afronding

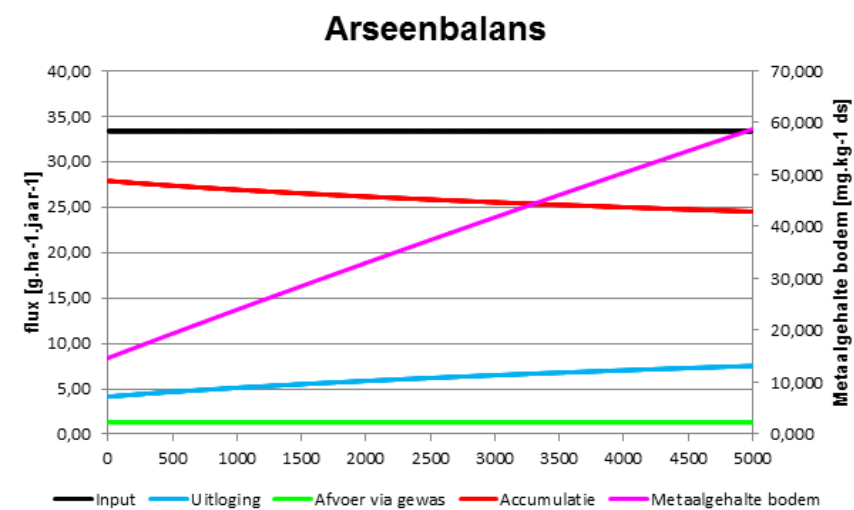
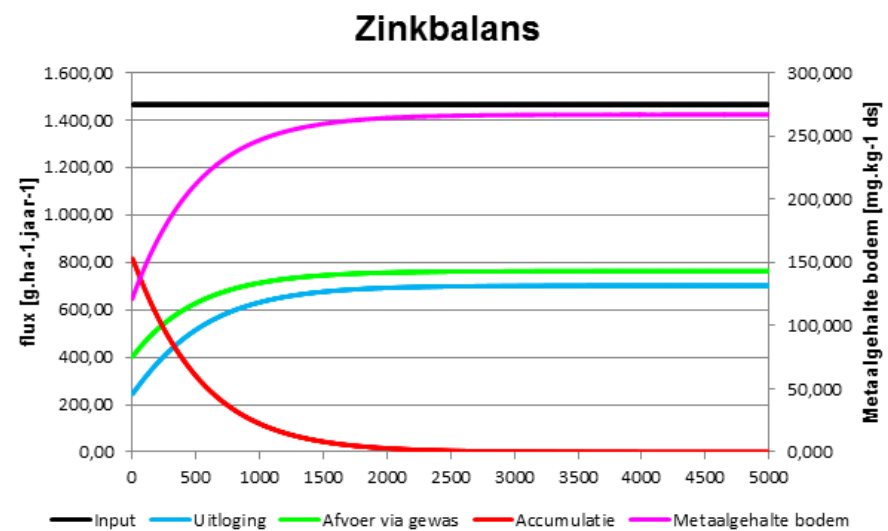
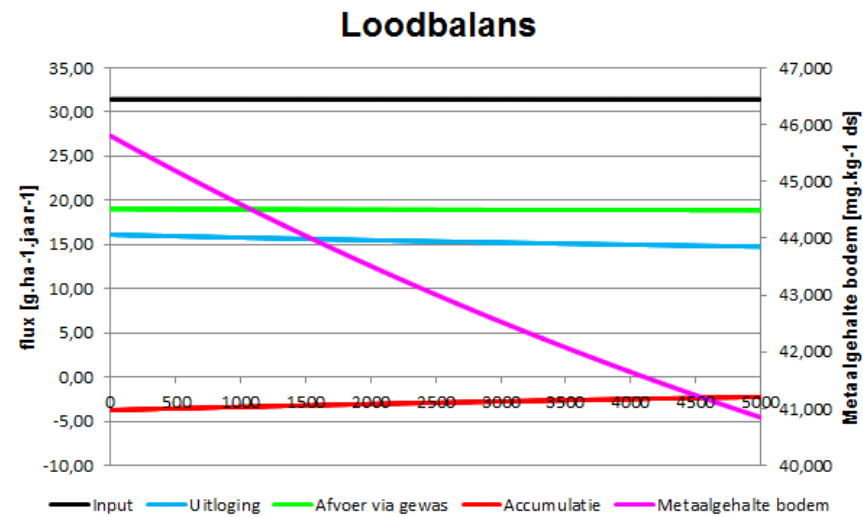
<1 2 decimalen
<10 1 decimaal
≥10 heel getal

In het geval dat er sprake is van het ontbreken van een grenswaarde voor een metaal in een meststof/bodemverbeteraar is als alternatief voor het betreffende metaal de concentratie en het gehalte van de metaalbalansberekening van het bovenliggende scenario overgenomen.

Bijlage 28: Metaalbalansen van scenario A-1 akkerbouw (Fluviatiele klei)



Bijlage 28: Metaalbalansen van scenario A-1 akkerbouw (Fluviatiele klei) (vervolg)



Bijlage 29: Modelresultaten van de scenario-berekeningen akkerbouw (Mariene klei)

Modelresultaten van de scenario-berekeningen akkerbouw

Scenario	Metaal	Steady state bodem	Metaalgehalte bodem (mg.kg-1 ds)		Metaalconc. bodemvocht (mg.m-3)		Metaalgehalte gewas (mg.kg-1 ds)		Suikerbiet		Zomertarwe		Mais	
			Jaar	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state	Aardappel 100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state	100 jaar
Mariene klei														
A-1	Cadmium	1.300	0,32	0,30	0,07	0,07	0,04	0,03	0,22	0,21	0,06	0,06	0,03	0,03
	Chroom	4	72	72	0,90	0,90	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
	Koper	5.000	31	467	7,5	113	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
	Kwik													
	Lood	5.000	30	38	1,9	2,3	0,09	0,10	2,9	3,0	0,18	0,21	2,0	2,0
	Nikkel	5.000	24	20	1,8	1,5	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
	Zink	5.000	115	609	17	156	15	15	15	97	31	66	25	97
	Arseen	5.000	16	58	1,0	1,7	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
B-1	Cadmium	3.300	0,41	1,1	0,10	0,39	0,04	0,10	0,25	0,48	0,07	0,14	0,04	0,12
	Chroom	4	72	72	0,90	0,90	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
	Koper	1.000	13	0	3,2	0	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
	Kwik													
	Lood	5.000	30	37	1,9	2,3	0,09	0,10	2,9	2,9	0,18	0,20	2,0	2,0
	Nikkel	5.000	24	18	1,8	1,3	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
	Zink	4.400	75	47	9,6	5,1	15	15	9,2	5,4	26	21	18	12
	Arseen	5.000	16	82	1,0	2,0	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
B-2	Cadmium	3.200	0,85	5,1	0,26	3,0	0,08	0,33	0,40	1,2	0,11	0,35	0,09	0,59
	Chroom	4	72	72	0,90	0,90	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
	Koper	1.000	13	0	3,2	0	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
	Kwik													
	Lood	5.000	34	228	2,1	9,2	0,09	0,17	2,9	3,5	0,20	0,46	2,0	2,0
	Nikkel	5.000	27,0	158	2,0	11	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
	Zink	4.400	75	47	9,6	5,1	15	15	9,2	5,4	26	21	18	12
	Arseen	5.000	17	104	0,97	2,1	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
C-1	Cadmium	3.300	0,39	1,0	0,09	0,33	0,04	0,09	0,25	0,44	0,07	0,13	0,04	0,10
	Chroom	4	72	72	0,90	0,90	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
	Koper	1.400	14	0	3,3	0	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
	Kwik													
	Lood	5.000	29	21	1,9	1,5	0,09	0,08	2,9	2,8	0,18	0,16	2,0	2,0
	Nikkel	5.000	23	9,5	1,7	0,72	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
	Zink	4.000	76	52	9,7	5,9	15	15	9,2	6,1	26	22	18	13
	Arseen	5.000	15	37	0,94	1,4	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
D-1	Cadmium	1.700	0,32	0,29	0,07	0,06	0,04	0,03	0,22	0,20	0,06	0,06	0,03	0,03
	Chroom	4	72	72	0,90	0,90	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
	Koper	5.000	32	476	7,5	115	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
	Kwik													
	Lood	5.000	29	23	1,9	1,6	0,09	0,08	2,9	2,8	0,18	0,16	2,0	2,0
	Nikkel	5.000	23	14	1,8	1,0	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
	Zink	4.500	115	608	17	156	15	15	15	97	31	66	25	97
	Arseen	4	15	15	0,92	0,92	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
D-2	Cadmium	3.200	0,38	0,85	0,09	0,26	0,04	0,08	0,24	0,40	0,07	0,11	0,04	0,09
	Chroom	4	72	72	0,90	0,90	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
	Koper	5.000	32	476	7,5	115	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
	Kwik													
	Lood	5.000	32	156	2,1	6,9	0,09	0,15	2,9	3,4	0,19	0,39	2,0	2,0
	Nikkel	5.000	26	114	1,9	8,2	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
	Zink	4.500	115	608	17	156	15	15	15	97	31	66	25	97
	Arseen	5.000	16	72	0,96	1,8	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
E-1	Cadmium	3.300	0,40	1,1	0,09	0,36	0,04	0,09	0,25	0,46	0,07	0,13	0,04	0,11
	Chroom	4	72	72	0,90	0,90	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
	Koper	1.600	14	0	3,4	0	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
	Kwik													
	Lood	4	29	29	1,9	1,9	0,09	0,09	2,9	2,9	0,18	0,18	2,0	2,0
	Nikkel	4	24	24	1,8	1,8	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
	Zink	3.000	76	62	9,8	7,5	15	15	9,3	7,4	26	24	18	15
	Arseen	5.000	15	39	0,9	1,4	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10

Afronding

<1 2 decimalen
<10 1 decimaal
≥10 heel getal

In het geval dat er sprake is van het ontbreken van een grenswaarde voor een metaal in een meststof/bodemverbeteraar is als alternatief voor het betreffende metaal de concentratie en het gehalte van de metaalbalansberekening van het bovenliggende scenario overgenomen.

Bijlage 29: Modelresultaten van de scenario-berekeningen akkerbouw (Mariene klei) (vervolg)

Modelresultaten van de scenario-berekeningen akkerbouw

Scenario	Metaal	Steady state bodem	Metaalgehalte bodem (mg.kg-1 ds)			Metaalconc. bodemvocht (mg.m-3)		Metaalgehalte gewas (mg.kg-1 ds)		Suikerbiet		Zomertarwe		Mais	
			Jaar	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state	Aardappel 100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state
Mariene klei	E-2	Cadmium	3.300	0,42	1,3	0,10	0,47	0,04	0,11	0,26	0,52	0,07	0,15	0,04	0,13
		Chroom	4	72	72	0,90	0,90	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
		Koper	1.600	14	0	3,4	0	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
		Kwik													
		Lood	5.000	31	73	2,0	3,9	0,09	0,12	2,9	3,1	0,19	0,28	2,0	2,0
		Nikkel	5.000	25	62	1,8	4,5	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
		Zink	3.000	76	62	9,8	7,5	15	15	9,3	7,4	26	24	18	15
		Arseen	5.000	15	39	0,94	1,4	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
F-1		Cadmium	2.900	0,35	0,60	0,08	0,16	0,04	0,06	0,23	0,32	0,07	0,09	0,03	0,06
		Chroom	5.000	73	116	0,91	1,0	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
		Koper	5.000	25	287	6,0	69	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
		Kwik													
		Lood	5.000	30	58	2,0	3,2	0,09	0,11	2,9	3,1	0,19	0,25	2,0	2,0
		Nikkel	5.000	24	37	1,8	2,8	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
		Zink	4.500	102	426	14	97	15	15	13	65	30	56	23	72
		Arseen	5.000	16	64	0,95	1,8	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
F-2		Cadmium	3.400	0,45	1,5	0,11	0,59	0,05	0,13	0,27	0,57	0,08	0,16	0,04	0,16
		Chroom	5.000	81	542	0,93	1,4	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
		Koper	5.000	33	509	7,8	123	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
		Kwik													
		Lood	5.000	41	562	2,5	18	0,10	0,23	3,0	3,8	0,21	0,68	2,0	2,0
		Nikkel	5.000	28	207	2,1	15	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
		Zink	4.400	130	806	20	227	15	15	17	134	33	75	28	121
		Arseen	5.000	16	64	0,95	1,8	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
F-3		Cadmium	3.400	0,48	1,9	0,12	0,78	0,05	0,15	0,28	0,65	0,08	0,19	0,05	0,20
		Chroom	5.000	81	542	0,93	1,4	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
		Koper	5.000	33	509	7,8	123	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
		Kwik													
		Lood	5.000	43	642	2,6	20	0,10	0,24	3,0	3,8	0,22	0,72	2,0	2,0
		Nikkel	5.000	30,0	268	2	19	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
		Zink	4.400	130	806	20	227	15	15	17	134	33	75	28	121
		Arseen	5.000	16	64	0,95	1,8	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
G-1		Cadmium	2.700	0,34	0,52	0,08	0,14	0,04	0,05	0,23	0,29	0,07	0,08	0,03	0,05
		Chroom	5.000	73	113	0,91	1,0	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
		Koper	5.000	26	311	6,2	75	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
		Kwik													
		Lood	5.000	33	187	2,1	7,9	0,09	0,16	2,9	3,4	0,19	0,42	2,0	2,0
		Nikkel	5.000	24	48	1,8	3,5	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
		Zink	4.500	103	445	15	103	15	15	13	68	30	57	23	75
		Arseen	5.000	16	86	0,96	2,0	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
G-2		Cadmium	3.300	0,40	1,1	0,10	0,38	0,04	0,10	0,25	0,47	0,07	0,14	0,04	0,12
		Chroom	5.000	73	113	0,91	1,0	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
		Koper	5.000	26	311	6,2	75	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
		Kwik													
		Lood	5.000	36	313	2,2	12	0,10	0,19	2,9	3,6	0,20	0,53	2,0	2,0
		Nikkel	5.000	27	146	2,0	10	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
		Zink	4.500	103	445	15	103	15	15	13	68	30	57	23	75
		Arseen	5.000	16	87	0,96	2,0	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
H-1		Cadmium	1.600	0,32	0,29	0,07	0,06	0,04	0,03	0,22	0,21	0,06	0,06	0,03	0,03
		Chroom	4	72	72	0,90	0,90	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
		Koper	5.000	29	414	7,0	100	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
		Kwik													
		Lood	5.000	30	42	1,9	2,5	0,09	0,10	2,9	3,0	0,18	0,22	2,0	2,0
		Nikkel	500	24	23	1,8	1,7	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
		Zink	4.500	119	661	18	174	15	15	15	107	32	69	26	103
		Arseen	5.000	16	73	0,96	1,8	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10

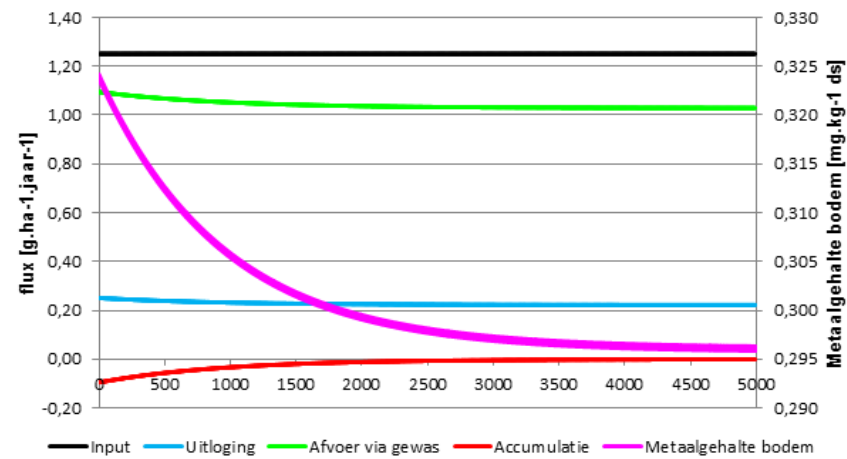
Afronding

<1	2 decimalen
<10	1 decimaal
≥10	heel getal

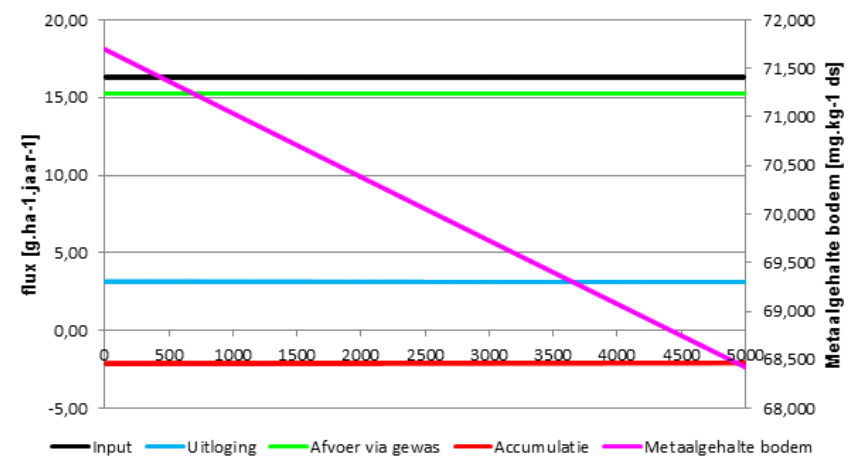
In het geval dat er sprake is van het ontbreken van een grenswaarde voor een metaal in een meststof/bodemverbeteraar is als alternatief voor het betreffende metaal de concentratie en het gehalte van de metaalbalansberekening van het bovenliggende scenario overgenomen.

Bijlage 30: Metaalbalansen van scenario A-1 akkerbouw (Mariene klei)

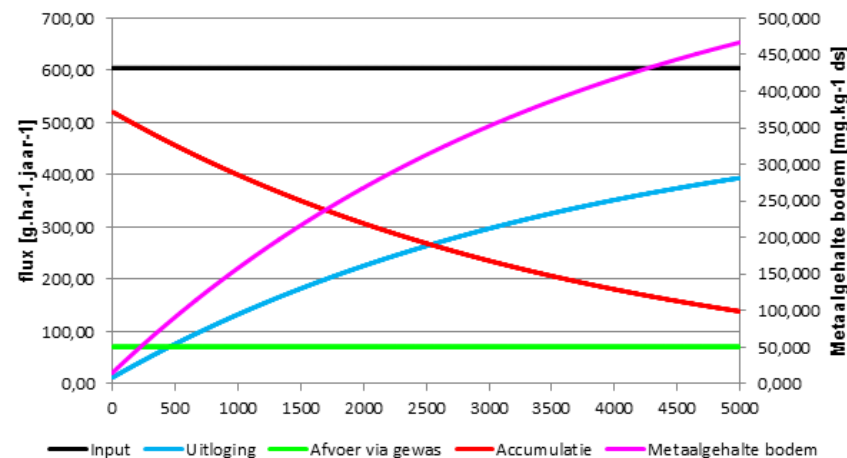
Cadmiumbalans



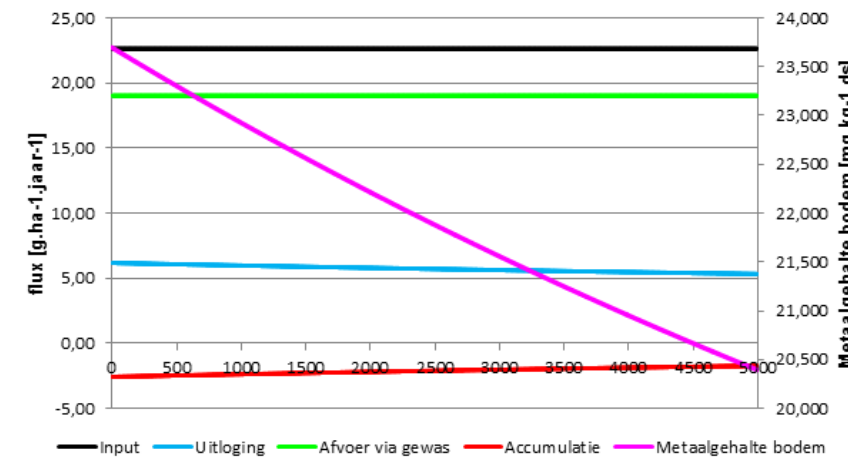
Chroombalans



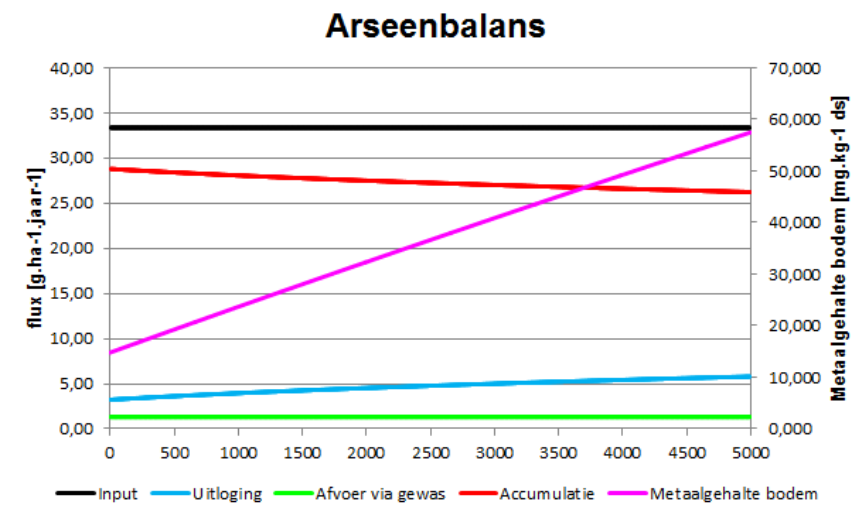
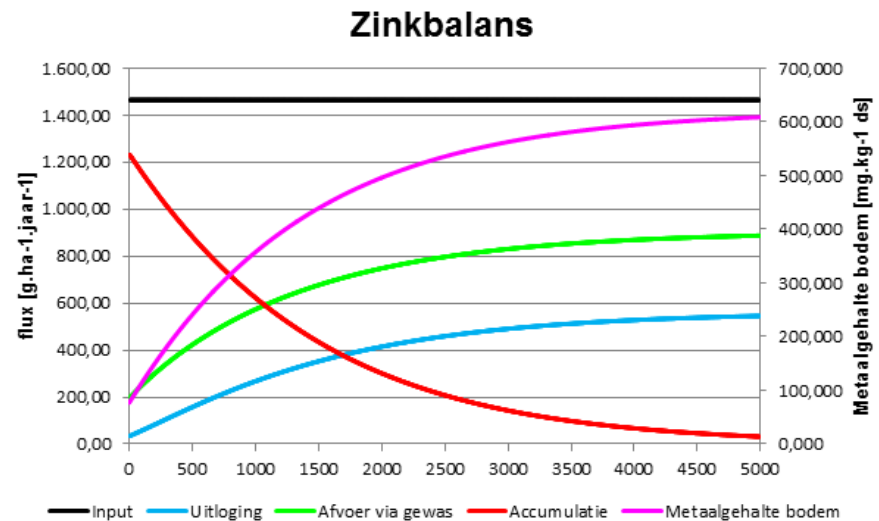
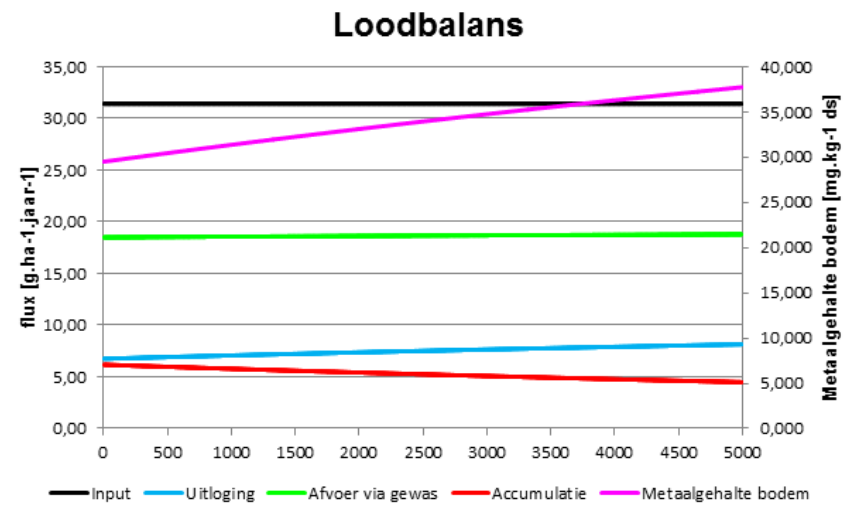
Koperbalans



Nikkelbalans



Bijlage 30: Metaalbalansen van scenario A-1 akkerbouw (Mariene klei) (vervolg)



Bijlage 31: Modelresultaten van de scenario-berekeningen bloembollenteelt (Zand – kalkrijk)

Modelresultaten van de scenario-berekeningen bloembollenteelt

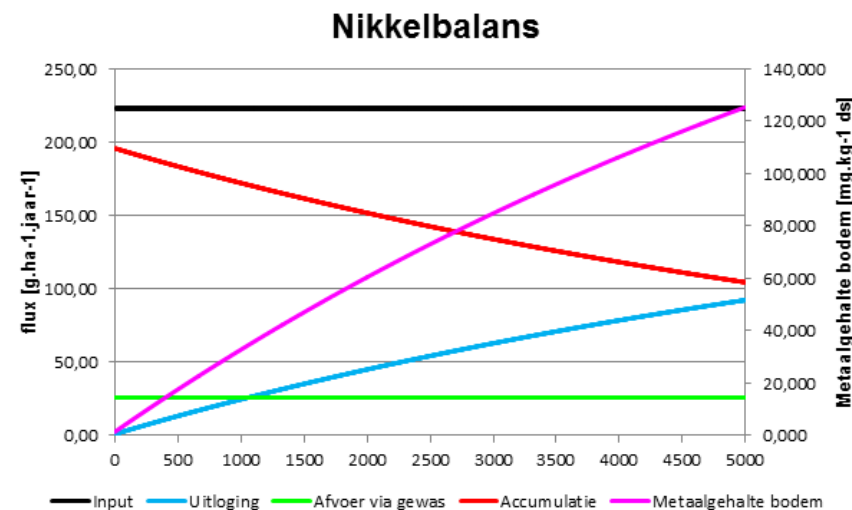
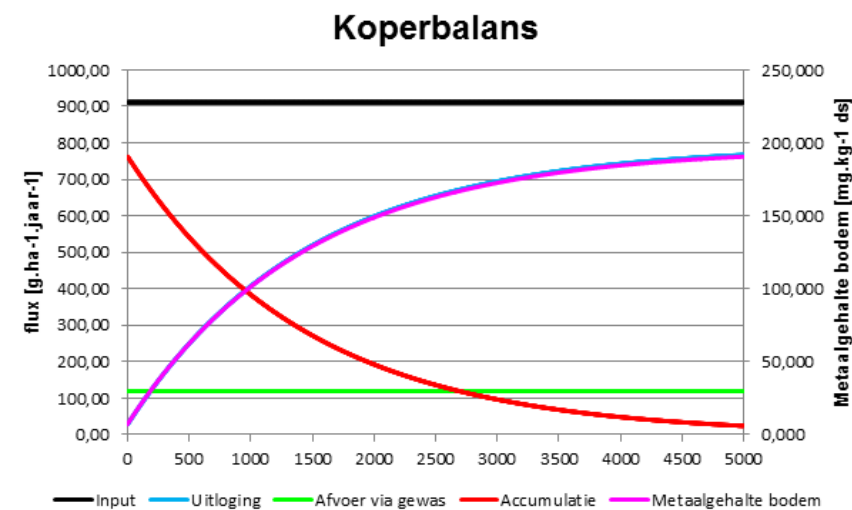
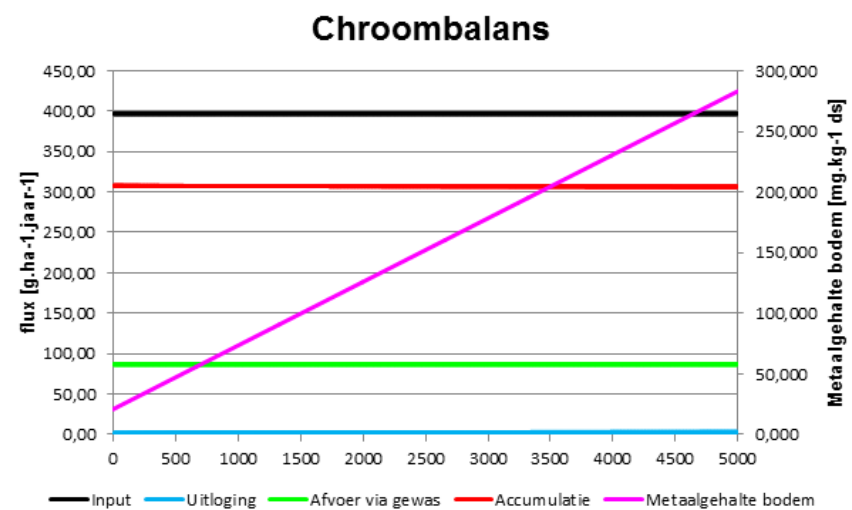
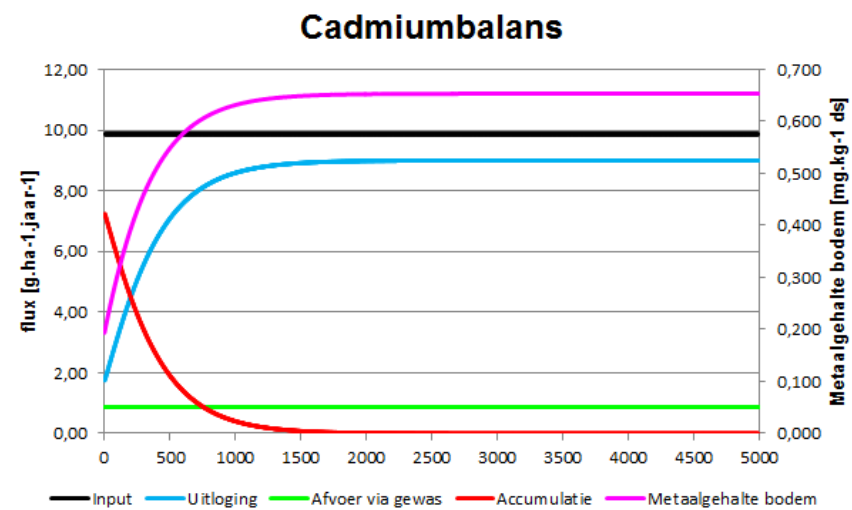
Scenario	Metaal	Steady state bodem	Metaalgehalte bodem (mg.kg-1 ds)		Metaalconc. bodemvocht (mg.m-3)		Metaalgehalte gewas (mg.kg-1 ds)		Narcis		Tulp	
			100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state	Hyacint 100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state
Zand (kalkrijk)		Jaar										
	K-1	Cadmium	1.400	0,31	0,65	0,91	2,5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
		Chroom	5.000	26	283	0,55	0,94	<10	<10	<10	<10	<10
		Koper	4.500	20	188	22	214	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9
		Kwik										
		Lood	5.000	35	693	15	141	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0
		Nikkel	5.000	4,9	125	0,29	9,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0
L-1		Zink	2.100	69	340	100	859	31	31	31	31	31
		Arseen	5.000	4,1	71	0,6	2,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0
		Cadmium	2.400	0,18	0,10	0,44	0,19	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
		Chroom	2.100	20	0	0,52	0	<10	<10	<10	<10	<10
		Koper	3.800	7,9	16	8,9	18	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9
		Kwik										
		Lood	5.000	18	27	8,6	12	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0
M-1		Nikkel	5.000	1,7	8,6	0,39	1,9	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0
		Zink	2.900	26	80	27	123	31	31	31	31	31
		Arseen	5.000	2,8	10	0,50	0,87	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0
		Cadmium	1.300	0,44	1,1	1,5	5,0	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
		Chroom	5.000	35	708	0,59	1,2	<10	<10	<10	<10	<10
		Koper	4.500	32	356	36	407	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9
		Kwik										
M-2		Lood	5.000	47	1138	18	206	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0
		Nikkel	5.000	7,3	216	1,6	45	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0
		Zink	2.000	95	469	154	1310	31	31	31	31	31
		Arseen	5.000	7,3	229	0,75	3,3	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0
		Cadmium	1.200	0,57	1,4	2,1	7,5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
		Chroom	5.000	50	1466	0,64	1,4	<10	<10	<10	<10	<10
		Koper	4.500	64	819	72	937	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9
M-3		Kwik										
		Lood	5.000	53	1383	20	239	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0
		Nikkel	5.000	16	557	3,5	113	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0
		Zink	1.700	183	840	370	2852	31	31	31	31	31
		Arseen	5.000	7,3	229	0,8	3,3	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0
		Cadmium	1.200	0,59	1,5	2,2	7,9	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
		Chroom	5.000	50	1466	0,64	1,4	<10	<10	<10	<10	<10
N-1		Koper	4.500	64	819	72	937	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9
		Kwik										
		Lood	5.000	54	1429	20	245	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0
		Nikkel	5.000	17	593	3,7	120	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0
		Zink	1.700	183	840	370	2852	31	31	31	31	31
		Arseen	5.000	7,3	229	0,8	3,3	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0
		Cadmium	1.000	0,20	0,22	0,51	0,57	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
O-1		Chroom	2.100	20	0	0,52	0	<10	<10	<10	<10	<10
		Koper	3.800	7,9	16	8,9	18	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9
		Kwik										
		Lood	5.000	19	61	9,0	22	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0
		Nikkel	5.000	2,6	42	0,6	9	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0
		Zink	2.900	26	80	27	123	31	31	31	31	31
		Arseen	5.000	2,8	11	0,50	0,88	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0
		Cadmium	1.300	0,19	0,16	0,47	0,39	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
		Chroom	3.200	20	0	0,52	0	<10	<10	<10	<10	<10
		Koper	4.400	12	83	14	94	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9
		Kwik										
		Lood	5.000	19	58	9,0	21	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0
		Nikkel	5.000	1,9	13	0,42	2,8	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0
		Zink	2.700	29	105	32	178	31	31	31	31	31
		Arseen	5.000	2,9	16	0,51	1,1	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0

Afronding

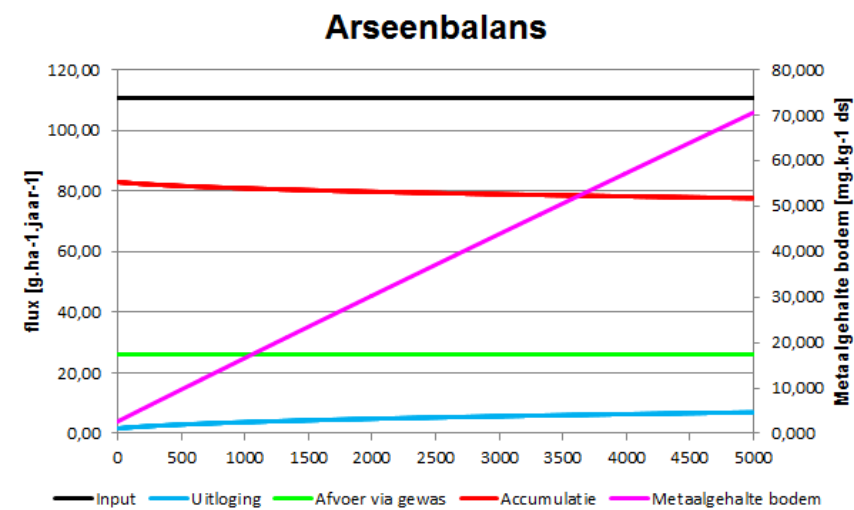
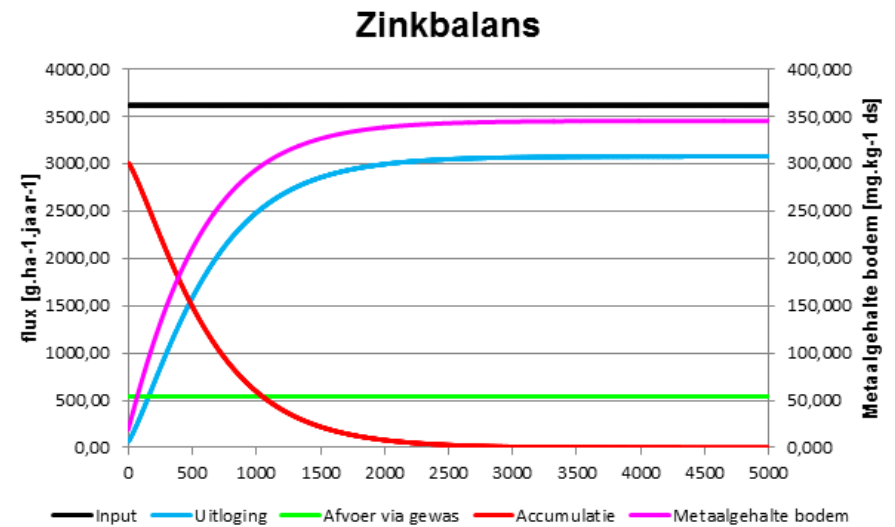
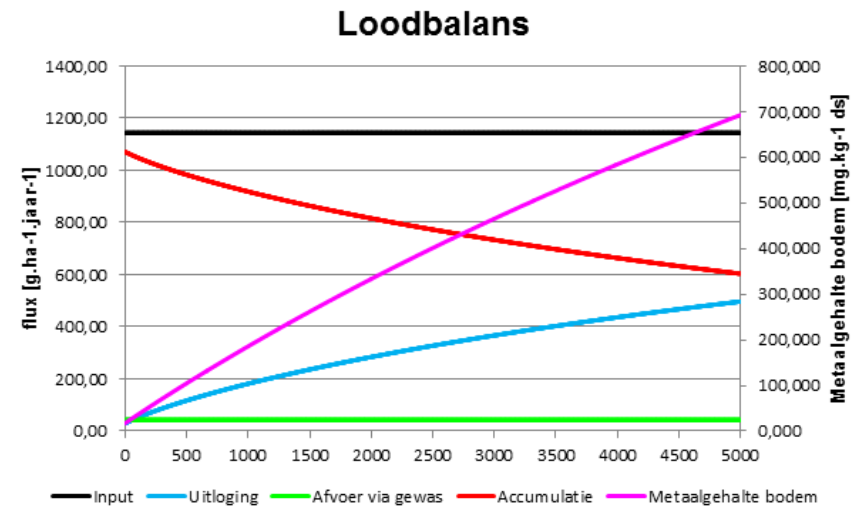
<1	2 decimalen
<10	1 decimaal
≥10	heel getal

In het geval dat er sprake is van het ontbreken van een grenswaarde voor een metaal in een meststof/bodemverbeteraar is als alternatief voor het betreffende metaal de concentratie en het gehalte van de metaalbalansberekening van het bovenliggende scenario overgenomen.

Bijlage 32: Metaalbalansen van scenario K-1 bloembollenteelt (Zand – kalkrijk)

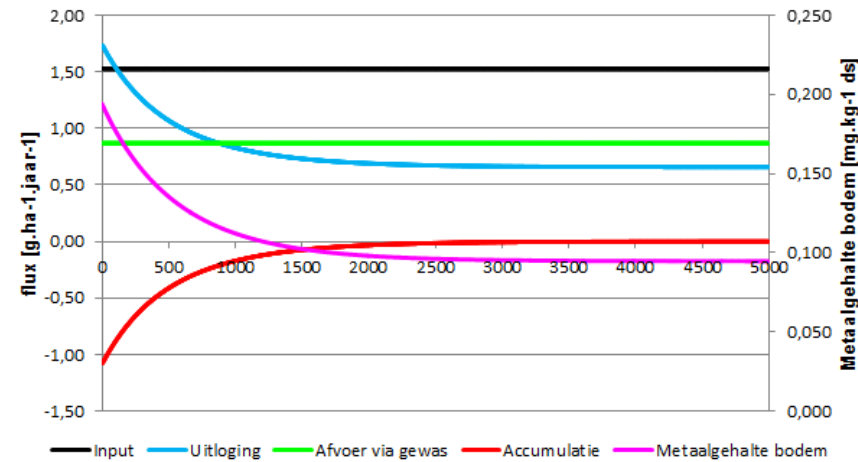


Bijlage 32: Metaalbalansen van scenario K-1 bloembollenteelt (Zand – kalkrijk) (vervolg)

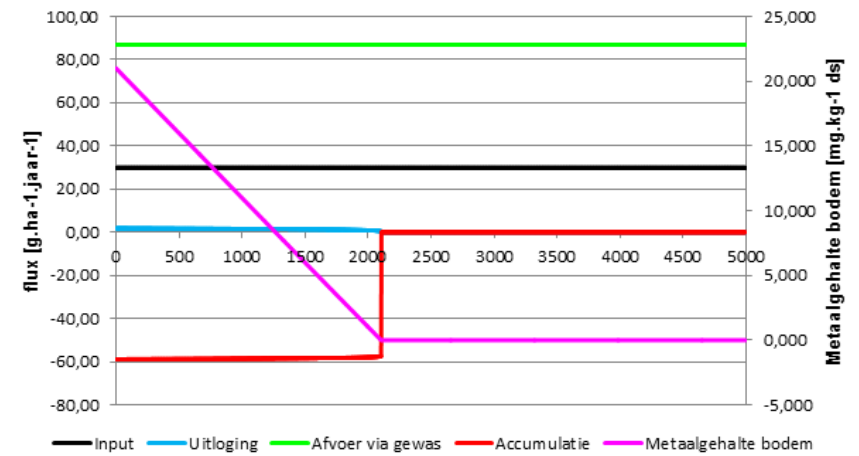


Bijlage 33: Metaalbalansen van scenario L-1 bloembollenteelt (Zand – kalkrijk)

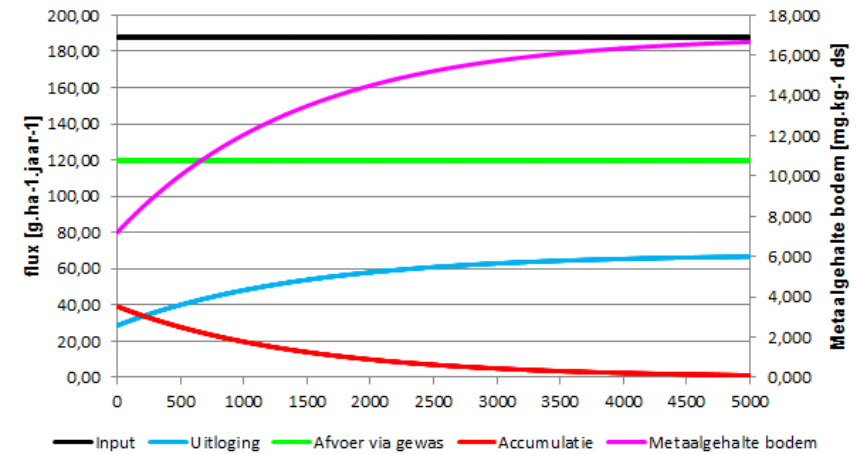
Cadmiumbalans



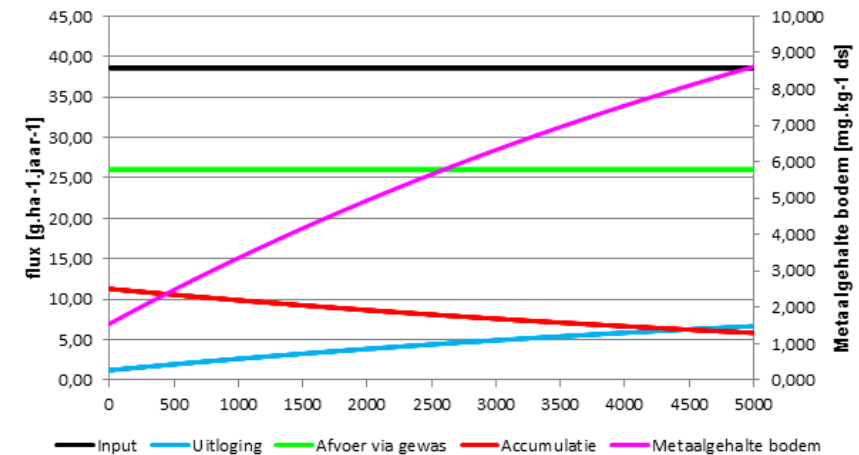
Chroombalans



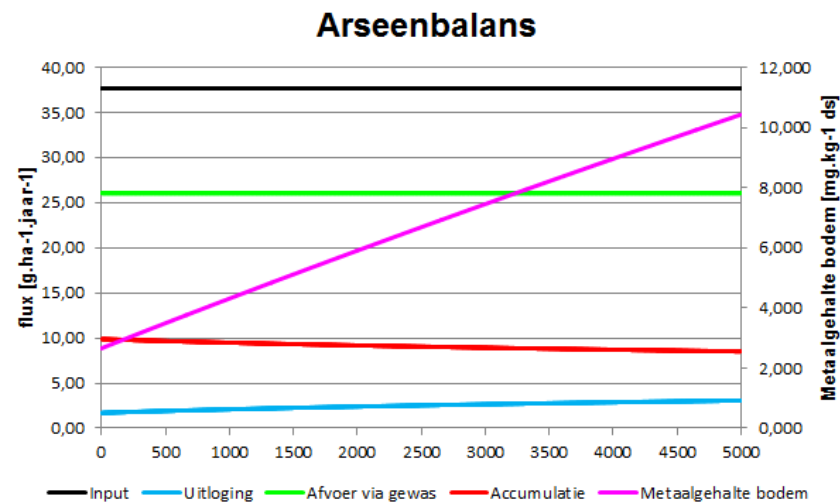
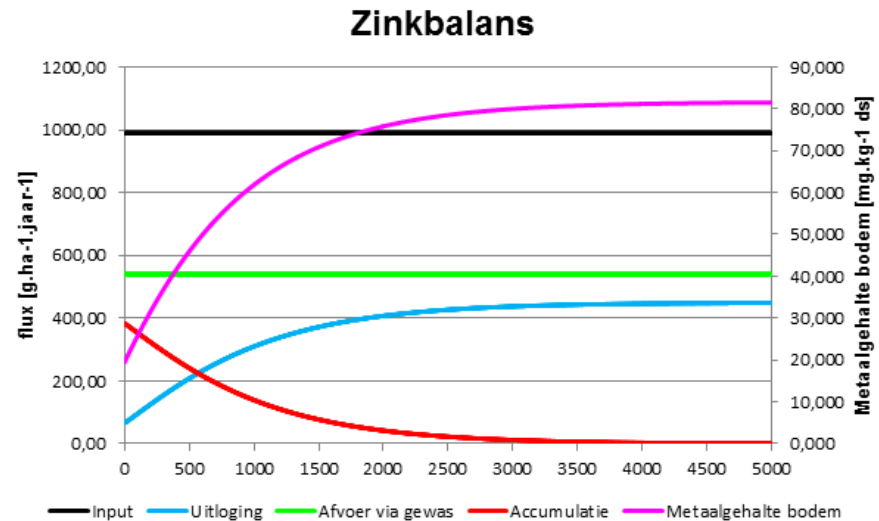
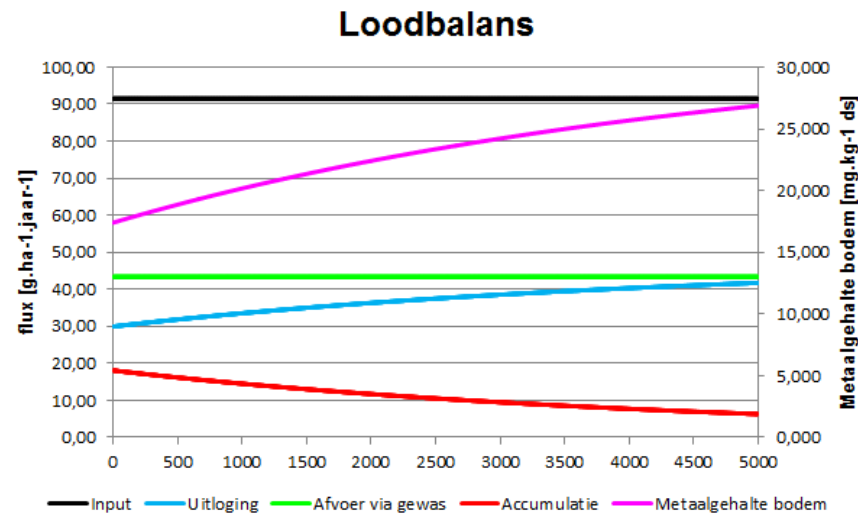
Koperbalans



Nikkelbalans



Bijlage 33: Metaalbalansen van scenario L-1 bloembollenteelt (Zand – kalkrijk) (vervolg)



Bijlage 34: Gevoeligheidsanalyse scenario A-1 akkerbouw

Tabel B.34.1: *Gevoeligheid van steady state metaalgehalte bodem voor atmosferische depositie +/-25%*¹

Bodemtype	Verandering	Cd	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	As
Fluviatiele klei	+25%	14,3	0	0,8	4,5	0	0,8	0
Mariene klei	+25%	10	0	0,6	7,9	20	0	0
Zand	+25%	25	-5,9	0,8	23,3	20	2,3	0
Fluviatiele klei	-25%	-14,3	0	-0,8	-15,9	-11,8	-1,1	-1,7
Mariene klei	-25%	-13,3	0	-0,9	-13,2	-5	-2,3	-1,7
Zand	-25%	0	-5,9	-0,8	-23,3	-20	0	0

¹ In het geval dat het metaalgehalte in de bodem met 20% of meer verandert (rood lettertype), is deze per definitie zeer gevoelig voor de verandering van de atmosferische depositie.

Tabel B.34.2: *Gevoeligheid van steady state metaalgehalte bodem voor metaalgehalte in meststoffen en bodemverbeteraars +/-25%*²

Bodemtype	Verandering	Cd	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	As
Fluviatiele klei	+25%	14,3	0	27,2	4,5	36,4	-22,3	22
Mariene klei	+25%	10	0	27,2	15,8	20	21,2	19
Zand	+25%	25	23,5	27,1	35	103	20,5	26,7
Fluviatiele klei	-25%	-14,3	-16	-27	-22,7	-41,8	-22,3	-22
Mariene klei	-25%	-13,3	0	-27,2	-21,1	-30	-24,1	-20,7
Zand	-25%	0	23,5	-27,1	-33,3	-97	-20,5	-26,7

² In het geval dat het metaalgehalte in de bodem met 20% of meer verandert (rood lettertype), is deze per definitie zeer gevoelig voor de verandering van het zware metaal gehalte van meststoffen en bodemverbeteraars.

Bijlage 35: Gevoeligheidsanalyse scenario K-1 bloembollenteelt

Tabel B.35.1: *Gevoeligheid van steady state metaalgehalte bodem voor atmosferische depositie +/-25%*¹

Bodemtype	Verandering	Cd	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	As
Kalkrijk zand	+25%	0	0	0,5	0	0,8	0,3	0
Kalkrijk zand	-25%	-1,5	0	-0,5	-27,1	0	-0,6	-1,4

¹ In het geval dat het metaalgehalte in de bodem met 20% of meer verandert (rood lettertype), is deze per definitie zeer gevoelig voor de verandering van de atmosferische depositie.

Tabel B.35.2: *Gevoeligheid van steady state metaalgehalte bodem voor metaalgehalte in meststoffen en bodemverbeteraars +/-25%*²

Bodemtype	Verandering	Cd	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	As
Kalkrijk zand	+25%	18,5	29,7	28,2	27,4	28	20,9	31
Kalkrijk zand	-25%	-20	-29,3	-28,2	-27,1	-27,2	-22,4	-32,4

² In het geval dat het metaalgehalte in de bodem met 20% of meer verandert (rood lettertype), is deze per definitie zeer gevoelig voor de verandering van het zware metaal gehalte van meststoffen en bodemverbeteraars.

Bijlage 36: Toetsing modelresultaten akkerbouw aan bereik datasets modelcoëfficiënten

Modelresultaat buiten bereik dataset afleiding metaalconcentratie grondwater

Modelresultaat buiten bereik dataset afleiding bodem-plant relatie (cadmium, zink) of BCF (lood)

A = aardappel, S = suikerbiet, Z = zomertarwe, M = mais

Scenario	Metaal	Steady state bodem	Metaalgehalte bodem				Metaalconc. bodemvocht		Metaalgehalte gewas		Suikerbiet		Zomertarwe		Mais	
			(mg.kg-1 ds)				(mg.m-3)		(mg.kg-1 ds)		100 jaar		100 jaar		100 jaar	
Fluviatiel		Jaar	100 jaar	betreft gewas	Steady state	betreft gewas	100 jaar	Steady state	Aardappel	Steady state	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state
A-1	Cadmium	2.400	0,45		0,14		0,26	0,06	0,07	0,03	0,48	0,23	0,10	0,05	0,07	0,02
	Koper	5.000	45		378		16	136	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
	Arseen	5.000	16		59		1,2	2,2	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
B-1	Koper	1.400	26		0		9,2	0	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
	Zink	5.000	106		23	S T	59	7,6	15	15	33	5,8	35	18	35	10
	Arseen	5.000	16		85		1,2	2,5	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
B-2	Koper	1.400	26		0		9,2	0	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
	Lood	5.000	50		232	A S T	4,9	16	0,11	0,17	3,0	3,5	0,23	0,46	2,0	2,0
	Nikkel	5.000	35		107		8,7	26	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
	Zink	5.000	106		23	S T	59	7,6	15	15	33	5,8	35	18	35	10
	Arseen	5.000	17		109		1,3	2,8	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
C-1	Koper	1.800	26		0		9,4	0	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
	Zink	3.400	106		26	S T	59	8,9	15	15	33	6,6	35	19	35	11
D-1	Cadmium	2.400	0,44		0,14		0,26	0,05	0,07	0,03	0,47	0,23	0,10	0,05	0,07	0,02
	Koper	5.000	45		386		16	138	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
D-2	Koper	5.000	45		386		16	138	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
	Nikkel	5.000	34		76		8,4	18	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
	Arseen	5.000	16		74		1,2	2,4	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
E-1	Koper	2.100	26		0		9,4	0	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
	Zink	3.300	107		30	S T	59	11	15	15	33	7,9	35	20	35	13
E-2	Koper	2.100	26		0		9,4	0	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
	Zink	3.300	107		30	S T	59	11	15	15	33	7,9	35	20	35	13
F-1	Chroom	5.000	76		119		1,6	1,7	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
	Arseen	5.000	16		65		1,2	2,3	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
F-2	Chroom	5.000	85		581		1,6	2,5	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
	Koper	5.000	47		412	A S T	17	148	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
	Lood	5.000	58		572		5,5	32	0,11	0,23	3,1	3,8	0,25	0,69	2,0	2,0
	Nikkel	5.000	36		141		9,0	34	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
	Arseen	5.000	16		65		1,2	2,3	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
F-3	Chroom	5.000	85		581		1,6	2,5	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
	Koper	5.000	47		412	A S T	17	148	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
	Lood	5.000	60		654		5,7	35	0,11	0,24	3,1	3,9	0,25	0,73	2,0	2,0
	Nikkel	5.000	38		184		9,3	44	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
	Arseen	5.000	16		65		1,2	2,3	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
G-1	Cadmium	2.000	0,47		0,26		0,28	0,13	0,08	0,05	0,49	0,34	0,10	0,07	0,08	0,04
	Arseen	5.000	16		90		1,2	2,6	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
G-2	Lood	5.000	52		317	A S T	5,1	20	0,11	0,19	3,0	3,6	0,24	0,53	2,0	2,0
	Nikkel	5.000	35		98		8,6	24	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
	Arseen	5.000	16		91		1,2	2,6	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
H-1	Cadmium	2.400	0,45		0,14		0,26	0,05	0,07	0,03	0,47	0,23	0,10	0,05	0,07	0,02
	Koper	5.000	43		336		15	120	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
	Arseen	5.000	16		75		1,2	2,4	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10

Bijlage 36: Toetsing modelresultaten akkerbouw aan bereik datasets modelcoëfficiënten (vervolg)

Modelresultaat buiten bereik dataset afleiding metaalconcentratie grondwater

Modelresultaat buiten bereik dataset afleiding bodem-plant relatie (cadmium, zink) of BCF (lood)

A = aardappel, S = suikerbiet, Z = zomertarwe, M = mais

Scenario	Metaal	Steady state bodem	Metaalgehalte bodem				Metaalconc. bodemvocht		Metaalgehalte gewas		Suikerbiet		Zomertarwe		Mais		
			(mg.kg-1 ds)				(mg.m-3)		(mg.kg-1 ds)								
		Jaar	100 jaar	betreft gewas	Steady state	betreft gewas	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state	
Mariene klei																	
	A-1	Cadmium	1.300	0,32		0,30		0,07	0,07	0,04	0,03	0,22	0,21	0,06	0,06	0,03	0,03
		Koper	5.000	31		467		7,5	113	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
		Zink	5.000	115		609		17	156	15	15	15	97	31	66	25	97
	Arseen	5.000	16		58		1,0	1,7	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10	
B-1	Cadmium	3.300	0,41		1,1		0,10	0,39	0,04	0,10	0,25	0,48	0,07	0,14	0,04	0,12	
	Koper	1.000	13		0		3,2	0	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0	
	Zink	4.400	75	T	47	S T	9,6	5,1	15	15	9,2	5,4	26	21	18	12	
	Arseen	5.000	16		82		1,0	2,0	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10	
B-2	Koper	1.000	13		0		3,2	0	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0	
	Lood	5.000	34		228	T	2,1	9,2	0,09	0,17	2,9	3,5	0,20	0,46	2,0	2,0	
	Nikkel	5.000	27		158		2,0	11	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90	
	Zink	4.400	75	T	47	S T	9,6	5,1	15	15	9,2	5,4	26	21	18	12	
	Arseen	5.000	17		104		0,97	2,1	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10	
C-1	Cadmium	3.300	0,39		1,0		0,09	0,33	0,04	0,09	0,25	0,44	0,07	0,13	0,04	0,10	
	Koper	1.400	14		0		3,3	0	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0	
	Zink	4.000	76	T	52	T	9,7	5,9	15	15	9,2	6,1	26	22	18	13	
D-1	Cadmium	1.700	0,32		0,29		0,07	0,06	0,04	0,03	0,22	0,20	0,06	0,06	0,03	0,03	
	Koper	5.000	32		476		7,5	115	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0	
	Zink	4.500	115		608		17	156	15	15	15	97	31	66	25	97	
D-2	Cadmium	3.200	0,38		0,85		0,09	0,26	0,04	0,08	0,24	0,40	0,07	0,11	0,04	0,09	
	Koper	5.000	32		476		7,5	115	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0	
	Nikkel	5.000	26		114		1,9	8,2	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90	
	Zink	4.500	115		608		17	156	15	15	15	97	31	66	25	97	
	Arseen	5.000	16		72		0,96	1,8	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10	
E-1	Cadmium	3.300	0,40		1,1		0,09	0,36	0,04	0,09	0,25	0,46	0,07	0,13	0,04	0,11	
	Koper	1.600	14		0		3,4	0	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0	
	Zink	3.000	76	T	62	T	9,8	7,5	15	15	9,3	7,4	26	24	18	15	
E-2	Cadmium	3.300	0,42		1,3		0,10	0,47	0,04	0,11	0,26	0,52	0,07	0,15	0,04	0,13	
	Koper	1.600	14		0		3,4	0	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0	
	Nikkel	5.000	25		62		1,8	4,5	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90	
	Zink	3.000	76	T	62	T	9,8	7,5	15	15	9,3	7,4	26	24	18	15	
F-1	Cadmium	2.900	0,35		0,60		0,08	0,16	0,04	0,06	0,23	0,32	0,07	0,09	0,03	0,06	
	Zink	4.500	102		426		14	97	15	15	13	65	30	56	23	72	
	Arseen	5.000	16		64		0,95	1,8	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10	
F-2	Cadmium	3.400	0,45		1,5		0,11	0,59	0,05	0,13	0,27	0,57	0,08	0,16	0,04	0,16	
	Chroom	5.000	81		542		0,93	1,4	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25	
	Koper	5.000	33		509		7,8	123	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0	
	Lood	5.000	41		562	A S T	2,5	18	0,10	0,23	3,0	3,8	0,21	0,68	2,0	2,0	
	Nikkel	5.000	28		207		2,1	15	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90	
	Zink	4.400	130		806		20	227	15	15	17	134	33	75	28	121	
	Arseen	5.000	16		64		0,95	1,8	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10	
F-3	Cadmium	3.400	0,48		1,9		0,12	0,78	0,05	0,15	0,28	0,65	0,08	0,19	0,05	0,20	
	Chroom	5.000	81		542		0,93	1,4	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25	
	Koper	5.000	33		509		7,8	123	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0	
	Lood	5.000	43		642	A S T	2,6	20	0,10	0,24	3,0	3,8	0,22	0,72	2,0	2,0	
	Nikkel	5.000	30		268		2	19	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90	
	Zink	4.400	130		806		20	227	15	15	17	134	33	75	28	121	
	Arseen	5.000	16		64		0,95	1,8	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10	
G-1	Cadmium	2.700	0,34		0,52		0,08	0,14	0,04	0,05	0,23	0,29	0,07	0,08	0,03	0,05	
	Zink	4.500	103		445		15	103	15	15	13	68	30	57	23	75	
	Arseen	5.000	16		86		0,96	2,0	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10	
G-2	Cadmium	3.300	0,40		1,1		0,10	0,38	0,04	0,10	0,25	0,47	0,07	0,14	0,04	0,12	
	Lood	5.000	36		313	A S T	2,2	12	0,10	0,19	2,9	3,6	0,20	0,53	2,0	2,0	
	Nikkel	5.000	27		146		2,0	10	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90	
	Zink	4.500	103		445		15	103	15	15	13	68	30	57	23	75	
	Arseen	5.000	16		87		0,96	2,0	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10	
H-1	Cadmium	1.600	0,32		0,29		0,07	0,06	0,04	0,03	0,22	0,21	0,06	0,06	0,03	0,03	
	Koper	5.000	29		414		7,0	100	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0	
	Zink	4.500	119		661		18	174	15	15	15	107	32	69	26	103	
	Arseen	5.000	16		73		0,96	1,8	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10	

Bijlage 36: Toetsing modelresultaten akkerbouw aan bereik datasets modelcoëfficiënten (vervolg)

Modelresultaat buiten bereik dataset afleiding metaalconcentratie grondwater

Modelresultaat buiten bereik dataset afleiding bodem-plant relatie (cadmium, zink) of BCF (lood)

A = aardappel, S = suikerbiet, Z = zomertarwe, M = mais

Scenario	Metaal	Steady state bodem	Metaalgehalte bodem				Metaalconc. bodemvocht		Metaalgehalte gewas		Suikerbiet		Zomertarwe		Mais	
			(mg.kg-1 ds)				(mg.m-3)		(mg.kg-1 ds)							
Zand		Jaar	100 jaar	betreft gewas	Steady state	betreft gewas	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state
A-1	Cadmium	1.000	0,11	M S	0,04	A M S T	0,35	0,09	0,07	0,03	0,45	0,24	0,07	0,04	0,05	0,02
	Lood	5.000	17		6,0	A S T	9,2	4,2	0,08	0,05	2,7	2,5	0,14	0,09	2,0	2,0
	Zink	500	36	S T	44	S T	198	264	15	15	69	87	36	39	36	42
B-1	Koper	500	5,4		0		6,3	0	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
	Lood	5.000	17		6,7	A S T	9,2	4,6	0,08	0,06	2,7	2,5	0,14	0,10	2,0	2,0
	Nikkel	2.800	1,4		0,61		2,3	1,0	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
	Zink	900	11	M S T	5,0	M S T	44	14	15	15	19	7,4	22	15	14	7,2
	Arseen	5.000	3,9		58		1,1	3,5	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
B-2	Koper	500	5,4		0		6,3	0	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
	Zink	900	11	M S T	5,0	M S T	44	14	15	15	19	7,4	22	15	14	7,2
	Arseen	5.000	4,4		78		1,2	4,0	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
C-1	Cadmium	600	0,16		0,14		0,57	0,45	0,09	0,08	0,57	0,51	0,09	0,08	0,07	0,06
	Koper	700	5,8		0		6,7	0,02	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
	Lood	5.000	17		1,5	A S T	9,1	1,5	0,07	0,04	2,7	2,2	0,14	0,05	2,0	2,0
	Nikkel	800	1,2		0		2,0	0	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
	Zink	900	12	M S T	5,4	M S T	45	16	15	15	19	8,1	22	15	14	7,7
D-1	Cadmium	1.000	0,11	M S	0,04	A M S T	0,35	0,08	0,07	0,03	0,45	0,24	0,07	0,04	0,05	0,02
	Lood	5.000	17		2,1	A S T	9,1	1,8	0,07	0,04	2,8	2,2	0,14	0,06	2,0	2,0
	Nikkel	4.400	1,3		0,06		2,2	0,10	4,0	4,0	0,60	0,60	1,0	1,0	0,90	0,90
	Zink	500	36	S T	45	S T	200	266	15	15	69	88	36	40	36	42
D-2	Cadmium	800	0,14		0,10	M S	0,48	0,29	0,08	0,06	0,52	0,42	0,08	0,06	0,06	0,04
	Zink	500	36	S T	45	S T	200	266	15	15	69	88	36	40	36	42
E-1	Cadmium	600	0,17		0,14		0,59	0,48	0,09	0,08	0,57	0,52	0,09	0,08	0,07	0,06
	Koper	800	5,9		0		6,9	0,01	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
	Lood	5.000	16		3,1	A S T	9,1	2,6	0,08	0,04	2,7	2,3	0,14	0,07	2,0	2,0
	Zink	800	12	M S T	6,3	M S T	47	19	15	15	20	9,5	22	16	15	8,7
E-2	Koper	800	5,9		0		6,9	0,01	4,0	4,0	10	10	5,0	5,0	4,0	4,0
	Zink	800	12	M S T	6,3	M S T	47	19	15	15	20	9,5	22	16	15	8,7
F-1	Cadmium	800	0,14		0,08	M S T	0,44	0,23	0,08	0,05	0,50	0,37	0,08	0,06	0,06	0,03
	Zink	500	28	S T	33	S T	143	177	15	15	52	62	32	34	29	33
F-2	Chroom	5.000	30		452		1,9	3,4	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
	Lood	5.000	27		291	A S T	13	81	0,09	0,18	2,9	3,6	0,18	0,51	2,0	2,0
	Zink	500	45	S T	57	T	270	373	15	15	89	117	40	44	43	52
F-3	Chroom	5.000	30		452		1,9	3,4	3,0	3,0	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25
	Lood	5.000	29		337	A S T	14	90	0,09	0,19	2,9	3,6	0,18	0,54	2,0	2,0
	Zink	500	45	S T	57	T	270	373	15	15	89	117	40	44	43	52
G-1	Cadmium	800	0,13	S	0,07	M S T	0,42	0,19	0,07	0,05	0,49	0,34	0,08	0,05	0,05	0,03
	Zink	500	29	S T	34	S T	148	186	15	15	54	65	33	35	30	34
	Arseen	5.000	4,0		63		1,1	3,6	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
G-2	Cadmium	600	0,17		0,15		0,60	0,51	0,09	0,08	0,58	0,54	0,09	0,08	0,07	0,06
	Zink	500	29	S T	34	S T	148	186	15	15	54	65	33	35	30	34
	Arseen	5.000	4,0		63		1,1	3,6	0,05	0,05	0,20	0,20	0,05	0,05	0,10	0,10
H-1	Cadmium	1.000	0,11	M S	0,04	A M S T	0,35	0,09	0,07	0,03	0,45	0,24	0,07	0,04	0,05	0,02
	Lood	5.000	17		8,7	A S T	9,3	5,6	0,08	0,06	2,7	2,6	0,14	0,11	2,0	2,0
	Zink	500	39	S T	48	S T	218	295	15	15	75	96	37	41	38	45

Bijlage 37: Toetsing modelresultaten bloembollenteelt aan bereik datasets modelcoëfficiënten

Modelresultaat buiten bereik dataset afleiding metaalconcentratie grondwater

Scenario	Metaal	Steady state bodem	Metaalgehalte bodem		Metaalconc. bodemvocht		Metaalgehalte gewas					
			(mg.kg-1 ds)		(mg.m-3)		(mg.kg-1 ds)					
Zand (kalkriik)		Jaar	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state	Hyacint 100 jaar	Steady state	Narcis 100 jaar	Steady state	Tulp 100 jaar	Steady state
	K-1	Chroom	5.000	26	283	0,55	0,94	<10	<10	<10	<10	<10
		Nikkel	5.000	4,9	125	0,29	9,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0
		Arseen	5.000	4,1	71	0,6	2,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0
L-1	Chroom	2.100	20	0	0,52	0	<10	<10	<10	<10	<10	<10
M-1	Chroom	5.000	35	708	0,59	1,2	<10	<10	<10	<10	<10	<10
	Koper	4.500	32	356	36	407	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9
	Nikkel	5.000	7,3	216	1,6	45	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0
	Arseen	5.000	7,3	229	0,75	3,3	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0
M-2	Chroom	5.000	50	1466	0,64	1,4	<10	<10	<10	<10	<10	<10
	Koper	4.500	64	819	72	937	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9
	Nikkel	5.000	16	557	3,5	113	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0
	Arseen	5.000	7,3	229	0,8	3,3	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0
M-3	Chroom	5.000	50	1466	0,64	1,4	<10	<10	<10	<10	<10	<10
	Koper	4.500	64	819	72	937	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9
	Nikkel	5.000	17	593	3,7	120	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0
	Arseen	5.000	7,3	229	0,8	3,3	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0
N-1	Chroom	2.100	20	0	0,52	0	<10	<10	<10	<10	<10	<10
O-1	Chroom	3.200	20	0	0,52	0	<10	<10	<10	<10	<10	<10

Bijlage 38: LAC-2006 waarden akkerbouw

Tabel B.38.1: Overzicht van LAC-2006 waarden ($\text{mg.kg}^{-1} \text{ ds}$)^{3,4} (Römkens et al., 2007)

<i>Bodemtype:</i> ²		landgebruik					
		Akkerbouw			Akkerbouw voor veevoer		
		zand	klei	veen	zand	klei	veen
Arseen	As	30	50	50	30	50	50
Cadmium	Cd	1	2	3	1	3	2(5) ¹
Chroom	Cr	100	180	140	100	180	140
Koper	Cu	50	160	200	50	80	80
Kwik	Hg	2	2	2	2	2	2
Lood	Pb	100	200	200	100	200	200
Nikkel	Ni	15	50	60	15	50	60
Zink	Zn	150	350	350	150	660	720

¹ Waarde van 2 volgt uit de lagere advies pH voor veengronden (4,8). Bij pH waarden tussen 5 en 6 is 5 mg.kg^{-1} voldoende

² Humusarme zandgrond: organische stof gehalte = 3%, lutumgehalte = 3%, pH = 5,5; kleigrond (organische stof gehalte = 3%, lutumgehalte = 25%, pH = 6,5; veengrond (organische stof gehalte = 30%, lutumgehalte = 15%, pH = 6,0 (Van Wezel et al., 2003)

³ Voor de toetsing is uitgegaan van de LAC-2006 waarden voor Akkerbouw. Er is een uitzondering gemaakt voor koper aangezien voor het geval van klei een strengere norm geldt voor de categorie Akkerbouw voor veevoer.

⁴ De verschillende kleuren van de getallen in de tabel zijn in dit onderzoek niet relevant.

Bijlage 39: LAC-2006 waarden bloembollenteelt

Tabel B.39.1: Overzicht van LAC-2006 waarden (mg.kg^{-1} ds) (Römkens et al., 2007)

		Sierteelt		
	<i>Bodemtype:</i> ¹	zand	klei	Veen
Arseen	As	30	50	50
Cadmium	Cd	5	10	10
Chroom	Cr	100	180	140
Koper	Cu	50	160	200
Kwik	Hg	2	2	2
Lood	Pb	340	480	590
Nikkel	Ni	15	50	60
Zink	Zn	150	660	720

¹ Humusarme zandgrond: organische stof gehalte = 3%, lutumgehalte = 3%, pH = 5,5; kleigrond (organische stof gehalte = 3%, lutumgehalte = 25%, pH = 6,5; veengrond (organische stof gehalte = 30%, lutumgehalte = 15%, pH = 6,0 (Van Wezel et al., 2003)

Bijlage 40: Streef- en interventiewaarden voor grondwater

Tabel B.40.1: *Streef- en interventiewaarden voor grondwater ($\mu\text{g.l}^{-1}$ of mg.m^{-3})* (Circulaire bodemsanering, 2013, p. 17)

Metaal	Streefwaarde $\mu\text{g.l}^{-1}$ ($=\text{mg.m}^{-3}$)	Interventiewaarde $\mu\text{g.l}^{-1}$ ($=\text{mg.m}^{-3}$)
Cadmium	0,4	6
Chroom	1	30
Koper	15	75
Kwik	0,05	0,3
Lood	15	75
Nikkel	15	75
Zink	65	800
Arseen	10	60

Bijlage 41: Milieukwaliteitsnormen voor landoppervlaktewater

Tabel B.41.1: *Jaargemiddelde milieukwaliteitsnormen voor landoppervlaktewater ($\mu\text{g.l}^{-1}$ of mg.m^{-3}) (Besluit kwaliteitseisen en monitoring water 2009; Regeling monitoring kaderrichtlijn water)*

Metaal	Milieukwaliteitsnorm $\mu\text{g.l}^{-1}$ ($=\text{mg.m}^{-3}$)
Cadmium	0,08 ^{1,3}
Chroom	3,4 ²
Koper	3,8 ²
Kwik	0,05 ^{1,3}
Lood	7,2 ^{1,3}
Nikkel	20 ^{1,3}
Zink	7,8 ²
Arseen	32 ²

¹ Besluit kwaliteitseisen en monitoring water 2009

² Regeling monitoring kaderrichtlijn water

³ Geldt alleen voor de opgeloste fractie (fractie na filtratie over 0,45 μm)

Bijlage 42: Toetsresultaten van de scenario-berekeningen akkerbouw (Zand)

Toetsresultaten van de scenario-berekeningen akkerbouw

Scenario	Metaal	Steady state bodem	Bodem	Grondwater			Landoppervlaktewater	
			LAC-2006	Streef- en interventiewaarden		MKN-waarden		
Zand		Jaar	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state
A-1	Cadmium	1.000	0,11	0,04	0,35	0,09	0,35	0,09
	Chroom	5.000	21	17	1,7	1,6	1,7	1,6
	Koper	3.200	21	129	25	151	25	151
	Kwik							
	Lood	5.000	17	6,0	9,2	4,2	9,2	4,2
	Nikkel	2.600	1,4	0,79	2,3	1,3	2,3	1,3
	Zink	500	36	44	198	264	198	264
	Arseen	5.000	3,3	30	1	2,6	1	2,6
B-1	Cadmium	600	0,17	0,15	0,61	0,52	0,61	0,52
	Chroom	4	21	21	1,7	1,7	1,7	1,7
	Koper	500	5,4	0	6,3	0	6,3	0
	Kwik							
	Lood	5.000	17	6,7	9,2	4,6	9,2	4,6
	Nikkel	2.800	1,4	0,61	2,3	1	2,3	1
	Zink	900	11	5	44	14	44	14
	Arseen	5.000	3,9	58	1,1	3,5	1,1	3,5
B-2	Cadmium	600	0,47	0,64	2,3	3,6	2,3	3,6
	Chroom	4	21	21	1,7	1,7	1,7	1,7
	Koper	500	5,4	0	6,3	0	6,3	0
	Kwik							
	Lood	5.000	21	99	11	35	11	35
	Nikkel	2.600	4,3	20	6,7	31	6,7	31
	Zink	900	11	5	44	14	44	14
	Arseen	5.000	4,4	78	1,2	4	1,2	4
C-1	Cadmium	600	0,16	0,14	0,57	0,45	0,57	0,45
	Chroom	4	21	21	1,7	1,7	1,7	1,7
	Koper	700	5,8	0	6,7	0,02	6,7	0,02
	Kwik							
	Lood	5.000	17	1,5	9,1	1,5	9,1	1,5
	Nikkel	800	1,2	0	2	0,01	2	0,01
	Zink	900	12	5,4	45	16	45	16
	Arseen	5.000	3,1	19	1	2,2	1	2,2
D-1	Cadmium	1.000	0,11	0,04	0,35	0,08	0,35	0,08
	Chroom	5.000	21	16	1,7	1,6	1,7	1,6
	Koper	3.200	21	131	25	153	25	153
	Kwik							
	Lood	5.000	17	2,1	9,1	1,8	9,1	1,8
	Nikkel	4.400	1,3	0,06	2,2	0,1	2,2	0,1
	Zink	500	36	45	200	266	200	266
	Arseen	4	2,7	2,7	0,93	0,93	0,93	0,93
D-2	Cadmium	800	0,14	0,1	0,48	0,29	0,48	0,29
	Chroom	5.000	21	16	1,7	1,6	1,7	1,6
	Koper	3.200	21	131	25	153	25	153
	Kwik							
	Lood	5.000	19	47	10	20	10	20
	Nikkel	2.600	3	11	4,7	17	4,7	17
	Zink	500	36	45	200	266	200	266
	Arseen	5.000	3,5	40	1,1	3	1,1	3
E-1	Cadmium	600	0,17	0,14	0,59	0,48	0,59	0,48
	Chroom	5.000	21	24	1,7	1,8	1,7	1,8
	Koper	800	5,9	0	6,9	0,01	6,9	0,01
	Kwik							
	Lood	5.000	16	3,1	9,1	2,6	9,1	2,6
	Nikkel	1.300	1,5	1,4	2,5	2,3	2,5	2,3
	Zink	800	12	6,3	47	19	47	19
	Arseen	5.000	3,1	21	1	2,3	1	2,3

Legenda

> interventie- of grenswaarde
≥ streefwaarde, maar ≤ interventiewaarde

Opmerking:

- Steady state is nog niet bereikt indien in kolom C 5.000 jaar staat vermeld.
- In het geval dat er sprake is van het ontbreken van een grenswaarde voor een metaal in een meststof/bodemverbeteraar is als alternatief voor het betreffende metaal de concentratie en het gehalte van de metaalbalansberekening van het bovenliggende scenario getoetst.

Bijlage 42: Toetsresultaten van de scenario-berekeningen akkerbouw (Zand) (vervolg)

Toetsresultaten van de scenario-berekeningen akkerbouw

Scenario	Metaal	Steady state bodem	Bodem	Grondwater			Landoppervlaktewater	
			LAC-2006	Streef- en interventiewaarden		MKN-waarden		
Zand		Jaar	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state
E-2	Cadmium	500	0,18	0,17	0,66	0,61	0,66	0,61
	Chroom	5.000	21	24	1,7	1,8	1,7	1,8
	Koper	800	5,9	0	6,9	0,01	6,9	0,01
	Kwik							
	Lood	2.900	18	20	9,5	11	9,5	11
	Nikkel	2.500	2,3	6,5	3,6	10	3,6	10
	Zink	800	12	6,3	47	19	47	19
Arseen	5.000	3,1	21	1	2,3	1	2,3	
F-1	Cadmium	800	0,14	0,08	0,44	0,23	0,44	0,23
	Chroom	5.000	22	59	1,7	2,2	1,7	2,2
	Koper	3.200	16	79	18	93	18	93
	Kwik							
	Lood	2.200	17	16	9,4	8,8	9,4	8,8
	Nikkel	2.200	1,8	3,3	2,9	5,2	2,9	5,2
	Zink	500	28	33	143	177	143	177
Arseen	5.000	3,6	43	1,1	3,1	1,1	3,1	
F-2	Cadmium	300	0,2	0,2	0,75	0,77	0,75	0,77
	Chroom	5.000	30	452	1,9	3,4	1,9	3,4
	Koper	3.200	23	140	26	165	26	165
	Kwik							
	Lood	5.000	27	291	13	81	13	81
	Nikkel	2.700	5,3	28	8,3	42	8,3	42
	Zink	500	45	57	270	373	270	373
Arseen	5.000	3,6	43	1,1	3,1	1,1	3,1	
F-3	Cadmium	500	0,22	0,25	0,87	1	0,87	1
	Chroom	5.000	30	452	1,9	3,4	1,9	3,4
	Koper	3.200	23	140	26	165	26	165
	Kwik							
	Lood	5.000	29	337	14	90	14	90
	Nikkel	2.700	6,6	36	10	55	10	55
	Zink	500	45	57	270	373	270	373
Arseen	5.000	3,6	43	1,1	3,1	1,1	3,1	
G-1	Cadmium	800	0,13	0,07	0,42	0,19	0,42	0,19
	Chroom	5.000	22	57	1,7	2,1	1,7	2,1
	Koper	3.200	16	86	19	101	19	101
	Kwik							
	Lood	5.000	20	78	10	30	10	30
	Nikkel	2.400	2	4,8	3,3	7,5	3,3	7,5
	Zink	500	29	34	148	186	148	186
Arseen	5.000	4	63	1,1	3,6	1,1	3,6	
G-2	Cadmium	600	0,17	0,15	0,6	0,51	0,6	0,51
	Chroom	5.000	22	57	1,7	2,1	1,7	2,1
	Koper	3.200	16	86	19	101	19	101
	Kwik							
	Lood	5.000	22	145	11	47	11	47
	Nikkel	2.600	4	18	6,3	28	6,3	28
	Zink	500	29	34	148	186	148	186
Arseen	5.000	4	63	1,1	3,6	1,1	3,6	
H-1	Cadmium	1.000	0,11	0,04	0,35	0,09	0,35	0,09
	Chroom	5.000	21	12	1,7	1,5	1,7	1,5
	Koper	3.200	20	114	23	134	23	134
	Kwik							
	Lood	5.000	17	8,7	9,3	5,6	9,3	5,6
	Nikkel	2.100	1,5	1,1	2,4	1,8	2,4	1,8
	Zink	500	39	48	218	295	218	295
Arseen	5.000	3,8	50	1,1	3,3	1,1	3,3	

Legenda

> interventie- of grenswaarde
≥ streefwaarde, maar ≤ interventiewaarde

Opmerking:

- Steady state is nog niet bereikt indien in kolom C 5.000 jaar staat vermeld.
- In het geval dat er sprake is van het ontbreken van een grenswaarde voor een metaal in een meststof/bodemverbeteraar is als alternatief voor het betreffende metaal de concentratie en het gehalte van de metaalbalansberekening van het bovenliggende scenario getoetst.

Bijlage 43: Toetsresultaten van de scenario-berekeningen akkerbouw (Fluviatiele klei)

Toetsresultaten van de scenario-berekeningen akkerbouw

Scenario	Metaal	Steady state bodem	Bodem	Grondwater		Landoppervlaktewater		
			LAC-2006	Streef- en interventiewaarden		MKN-waarden		
Fluviatiele klei		Jaar	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state
A-1	Cadmium	2.400	0,45	0,14	0,26	0,06	0,26	0,06
	Chroom	4	75	75	1,50	1,60	1,5	1,6
	Koper	5.000	45	378	16	136	16	136
	Kwik							
	Lood	1.400	46	44	4,6	4,5	4,6	4,5
	Nikkel	5.000	32	11	7,8	2,7	7,8	2,7
	Zink	1.900	146	264	90	197	90	197
Arseen	5.000	16	59	1,2	2,2	1,2	2,2	
B-1	Cadmium	1.000	0,53	0,58	0,33	0,37	0,33	0,37
	Chroom	4	75	75	1,60	1,60	1,6	1,6
	Koper	1.400	26	0	9,2	0	9,2	0
	Kwik							
	Lood	4.200	46	41	4,6	4,2	4,6	4,2
	Nikkel	5.000	32	8,7	7,8	2,2	7,8	2,2
	Zink	5.000	106	23	59	7,6	59	7,6
Arseen	5.000	16	85	1,2	2,5	1,2	2,5	
B-2	Cadmium	1.700	0,99	2,7	0,76	3	0,76	3
	Chroom	4	75	75	1,60	1,60	1,6	1,6
	Koper	1.400	26	0	9,2	0	9,2	0
	Kwik							
	Lood	5.000	50	232	4,9	16	4,9	16
	Nikkel	5.000	35	107	8,7	26	8,7	26
	Zink	5.000	106	23	59	7,6	59	7,6
Arseen	5.000	17	109	1,3	2,8	1,3	2,8	
C-1	Cadmium	200	0,52	0,52	0,32	0,32	0,32	0,32
	Chroom	4	75	75	1,60	1,60	1,6	1,6
	Koper	1.800	26	0	9,4	0	9,4	0
	Kwik							
	Lood	5.000	45	24	4,6	2,9	4,6	2,9
	Nikkel	5.000	31	3	7,8	0,78	7,8	0,78
	Zink	3.400	106	26	59	8,9	59	8,9
Arseen	5.000	15	36	1,2	1,8	1,2	1,8	
D-1	Cadmium	2.400	0,44	0,14	0,26	0,05	0,26	0,05
	Chroom	4	75	75	1,50	1,60	1,5	1,6
	Koper	5.000	45	386	16	138	16	138
	Kwik							
	Lood	5.000	45	26	4,6	3	4,6	3
	Nikkel	5.000	31	5,8	7,8	1,5	7,8	1,5
	Zink	1.900	147	266	90	200	90	200
Arseen	4	15	15	1,2	1,2	1,2	1,2	
D-2	Cadmium	1.300	0,5	0,44	0,31	0,25	0,31	0,25
	Chroom	4	75	75	1,50	1,60	1,5	1,6
	Koper	5.000	45	386	16	138	16	138
	Kwik							
	Lood	5.000	49	159	4,8	12	4,8	12
	Nikkel	5.000	34	76	8,4	18	8,4	18
	Zink	1.900	147	266	90	200	90	200
Arseen	5.000	16	74	1,2	2,4	1,2	2,4	
E-1	Cadmium	600	0,53	0,54	0,32	0,33	0,32	0,33
	Chroom	4	75	75	1,60	1,60	1,6	1,6
	Koper	2.100	26	0	9,4	0	9,4	0
	Kwik							
	Lood	5.000	45	30	4,6	3,3	4,6	3,3
	Nikkel	5.000	32	13	7,8	3,2	7,8	3,2
	Zink	3.300	107	30	59	11	59	11
Arseen	5.000	15	38	1,2	1,8	1,2	1,8	

Legenda

> interventie- of grenswaarde
 ≥ streefwaarde, maar ≤ interventiewaarde

Opmerking:

- Steady state is nog niet bereikt indien in kolom C 5.000 jaar staat vermeld.
- In het geval dat er sprake is van het ontbreken van een grenswaarde voor een metaal in een meststof/bodemverbeteraar is als alternatief voor het betreffende metaal de concentratie en het gehalte van de metaalbalansberekening van het bovenliggende scenario getoetst.

Bijlage 43: Toetsresultaten van de scenario-berekeningen akkerbouw (Fluviatiele klei) (vervolg)

Toetsresultaten van de scenario-berekeningen akkerbouw

Scenario	Metaal	Steady state bodem	Bodem	Grondwater			Landoppervlaktewater	
			LAC-2006	Streef- en interventiewaarden		MKN-waarden		
Fluviatiele klei		Jaar	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state
E-2	Cadmium	1.400	0,55	0,66	0,34	0,44	0,34	0,44
	Chroom	4	75	75	1,60	1,60	1,6	1,6
	Koper	2.100	26	0	9,4	0	9,4	0
	Kwik							
	Lood	5.000	47	76	4,7	6,8	4,7	6,8
	Nikkel	3.500	33	38	8,1	9,4	8,1	9,4
	Zink	3.300	107	30	59	11	59	11
Arseen	5.000	15	39	1,2	1,8	1,2	1,8	
F-1	Cadmium	1.900	0,48	0,3	0,29	0,15	0,29	0,15
	Chroom	5.000	76	119	1,60	1,70	1,6	1,7
	Koper	5.000	38	232	14	83	14	83
	Kwik							
	Lood	5.000	46	61	4,6	5,7	4,6	5,7
	Nikkel	5.000	32	22	7,9	5,5	7,9	5,5
	Zink	1.800	133	190	79	127	79	127
Arseen	5.000	16	65	1,2	2,3	1,2	2,3	
F-2	Cadmium	1.600	0,58	0,79	0,37	0,56	0,37	0,56
	Chroom	5.000	85	581	1,60	2,50	1,6	2,5
	Koper	5.000	47	412	17	148	17	148
	Kwik							
	Lood	5.000	58	572	5,5	32	5,5	32
	Nikkel	5.000	36	141	9	34	9	34
	Zink	1.900	163	348	103	286	103	286
Arseen	5.000	16	65	1,2	2,3	1,2	2,3	
F-3	Cadmium	1.700	0,61	0,98	0,4	0,75	0,4	0,75
	Chroom	5.000	85	581	1,60	2,50	1,6	2,5
	Koper	5.000	47	412	17	148	17	148
	Kwik							
	Lood	5.000	60	654	5,7	35	5,7	35
	Nikkel	5.000	38	184	9,3	44	9,3	44
	Zink	1.900	163	348	103	286	103	286
Arseen	5.000	16	65	1,2	2,3	1,2	2,3	
G-1	Cadmium	2.000	0,47	0,26	0,28	0,13	0,28	0,13
	Chroom	5.000	76	116	1,60	1,70	1,6	1,7
	Koper	5.000	39	252	14	90	14	90
	Kwik							
	Lood	5.000	49	191	4,9	14	4,9	14
	Nikkel	1.200	32	31	8	7,7	8	7,7
	Zink	1.800	135	198	80	135	80	135
Arseen	5.000	16	90	1,2	2,6	1,2	2,6	
G-2	Cadmium	1.000	0,53	0,57	0,33	0,36	0,33	0,36
	Chroom	5.000	76	116	1,60	1,70	1,6	1,7
	Koper	5.000	39	252	14	90	14	90
	Kwik							
	Lood	5.000	52	317	5,1	20	5,1	20
	Nikkel	5.000	35	98	8,6	24	8,6	24
	Zink	1.800	135	198	80	135	80	135
Arseen	5.000	16	91	1,2	2,6	1,2	2,6	
H-1	Cadmium	2.400	0,45	0,14	0,26	0,05	0,26	0,05
	Chroom	5.000	75	63	1,50	1,50	1,5	1,5
	Koper	5.000	43	336	15	120	15	120
	Kwik							
	Lood	4	46	46	4,6	4,6	4,6	4,6
	Nikkel	5.000	32	11	7,8	2,8	7,8	2,8
	Zink	1.900	151	288	94	222	94	222
Arseen	5.000	16	75	1,2	2,4	1,2	2,4	

Legenda

> interventie- of grenswaarde
 ≥ streefwaarde, maar ≤ interventiewaarde

Opmerking:

- Steady state is nog niet bereikt indien in kolom C 5.000 jaar staat vermeld.
- In het geval dat er sprake is van het ontbreken van een grenswaarde voor een metaal in een meststof/bodemverbeteraar is als alternatief voor het betreffende metaal de concentratie en het gehalte van de metaalbalansberekening van het bovenliggende scenario getoetst.

Bijlage 44: Toetsresultaten van de scenario-berekeningen akkerbouw (Mariene klei)

Toetsresultaten van de scenario-berekeningen akkerbouw

Scenario	Metaal	Steady state bodem	Bodem	Grondwater		Landoppervlaktewater		
			LAC-2006	Streef- en interventiewaarden		MKN-waarden		
Mariene klei		Jaar	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state
A-1	Cadmium	1.300	0,32	0,3	0,07	0,07	0,07	0,07
	Chroom	4	72	72	0,90	0,90	0,9	0,9
	Koper	5.000	31	467	7,5	113	7,5	113
	Kwik							
	Lood	5.000	30	38	1,9	2,3	1,9	2,3
	Nikkel	5.000	24	20	1,8	1,5	1,8	1,5
	Zink	5.000	115	609	17	156	17	156
	Arseen	5.000	16	58	1	1,7	1	1,7
B-1	Cadmium	3.300	0,41	1,1	0,1	0,39	0,1	0,39
	Chroom	4	72	72	0,90	0,90	0,9	0,9
	Koper	1.000	13	0	3,2	0	3,2	0
	Kwik							
	Lood	5.000	30	37	1,9	2,3	1,9	2,3
	Nikkel	5.000	24	18	1,8	1,3	1,8	1,3
	Zink	4.400	75	47	9,6	5,1	9,6	5,1
	Arseen	5.000	16	82	1	2	1	2
B-2	Cadmium	3.200	0,85	5,1	0,26	3	0,26	3
	Chroom	4	72	72	0,90	0,90	0,9	0,9
	Koper	1.000	13	0	3,2	0	3,2	0
	Kwik							
	Lood	5.000	34	228	2,1	9,2	2,1	9,2
	Nikkel	5.000	27	158	2	11	2	11
	Zink	4.400	75	47	9,6	5,1	9,6	5,1
	Arseen	5.000	17	104	0,97	2,1	0,97	2,1
C-1	Cadmium	3.300	0,39	1	0,09	0,33	0,09	0,33
	Chroom	4	72	72	0,90	0,90	0,9	0,9
	Koper	1.400	14	0	3,3	0	3,3	0
	Kwik							
	Lood	5.000	29	21	1,9	1,5	1,9	1,5
	Nikkel	5.000	23	9,5	1,7	0,72	1,7	0,72
	Zink	4.000	76	52	9,7	5,9	9,7	5,9
	Arseen	5.000	15	37	0,94	1,4	0,94	1,4
D-1	Cadmium	1.700	0,32	0,29	0,07	0,06	0,07	0,06
	Chroom	4	72	72	0,90	0,90	0,9	0,9
	Koper	5.000	32	476	7,5	115	7,5	115
	Kwik							
	Lood	5.000	29	23	1,9	1,6	1,9	1,6
	Nikkel	5.000	23	14	1,8	1	1,8	1
	Zink	4.500	115	608	17	156	17	156
	Arseen	4	15	15	0,92	0,92	0,92	0,92
D-2	Cadmium	3.200	0,38	0,85	0,09	0,26	0,09	0,26
	Chroom	4	72	72	0,90	0,90	0,9	0,9
	Koper	5.000	32	476	7,5	115	7,5	115
	Kwik							
	Lood	5.000	32	156	2,1	6,9	2,1	6,9
	Nikkel	5.000	26	114	1,9	8,2	1,9	8,2
	Zink	4.500	115	608	17	156	17	156
	Arseen	5.000	16	72	0,96	1,8	0,96	1,8
E-1	Cadmium	3.300	0,4	1,1	0,09	0,36	0,09	0,36
	Chroom	4	72	72	0,90	0,90	0,9	0,9
	Koper	1.600	14	0	3,4	0	3,4	0
	Kwik							
	Lood	4	29	29	1,9	1,9	1,9	1,9
	Nikkel	4	24	24	1,8	1,8	1,8	1,8
	Zink	3.000	76	62	9,8	7,5	9,8	7,5
	Arseen	5.000	15	39	0,94	1,4	0,94	1,4

Legenda

> interventie- of grenswaarde
 ≥ streefwaarde, maar ≤ interventiewaarde

Opmerking:

- Steady state is nog niet bereikt indien in kolom C 5.000 jaar staat vermeld.
- In het geval dat er sprake is van het ontbreken van een grenswaarde voor een metaal in een meststof/bodemverbeteraar is als alternatief voor het betreffende metaal de concentratie en het gehalte van de metaalbalansberekening van het bovenliggende scenario getoetst.

Bijlage 44: Toetsresultaten van de scenario-berekeningen akkerbouw (Mariene klei) (vervolg)

Toetsresultaten van de scenario-berekeningen akkerbouw

Scenario	Metaal	Steady state nodem	Bodem		Grondwater		Landoppervlaktewater		
			LAC-2006		Streef- en interventiewaarden		MKN-waarden		
Mariene klei	Jaar	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state		
	E-2	Cadmium	3.300	0,42	1,3	0,1	0,47	0,1	0,47
		Chroom	4	72	72	0,90	0,90	0,9	0,9
		Koper	1.600	14	0	3,4	0	3,4	0
		Kwik							
		Lood	5.000	31	73	2,0	3,9	2,0	3,9
		Nikkel	5.000	25	62	1,8	4,5	1,8	4,5
		Zink	3.000	76	62	9,8	7,5	9,8	7,5
	Arseen	5.000	15	39	0,94	1,4	0,94	1,4	
F-1	Cadmium	2.900	0,35	0,6	0,08	0,16	0,08	0,16	
		Chroom	5.000	73	116	0,91	1,00	0,91	1
		Koper	5.000	25	287	6	69	6	69
		Kwik							
		Lood	5.000	30	58	2,0	3,2	2,0	3,2
		Nikkel	5.000	24	37	1,8	2,8	1,8	2,8
		Zink	4.500	102	426	14	97	14	97
		Arseen	5.000	16	64	0,95	1,8	0,95	1,8
F-2	Cadmium	3.400	0,45	1,5	0,11	0,59	0,11	0,59	
		Chroom	5.000	81	542	0,93	1,40	0,93	1,4
		Koper	5.000	33	509	7,8	123	7,8	123
		Kwik							
		Lood	5.000	41	562	2,5	18	2,5	18
		Nikkel	5.000	28	207	2,1	15	2,1	15
		Zink	4.400	130	806	20	227	20	227
		Arseen	5.000	16	64	0,95	1,8	0,95	1,8
F-3	Cadmium	3.400	0,48	1,9	0,12	0,78	0,12	0,78	
		Chroom	5.000	81	542	0,93	1,40	0,93	1,4
		Koper	5.000	33	509	7,8	123	7,8	123
		Kwik							
		Lood	5.000	43	642	2,6	20	2,6	20
		Nikkel	5.000	30	268	2,2	19	2,2	19
		Zink	4.400	130	806	20	227	20	227
		Arseen	5.000	16	64	0,95	1,8	0,95	1,8
G-1	Cadmium	2.700	0,34	0,52	0,08	0,14	0,08	0,14	
		Chroom	5.000	73	113	0,91	1,00	0,91	1
		Koper	5.000	26	311	6,2	75	6,2	75
		Kwik							
		Lood	5.000	33	187	2,1	7,9	2,1	7,9
		Nikkel	5.000	24	48	1,8	3,5	1,8	3,5
		Zink	4.500	103	445	15	103	15	103
		Arseen	5.000	16	86	0,96	2	0,96	2
G-2	Cadmium	3.300	0,4	1,1	0,1	0,38	0,1	0,38	
		Chroom	5.000	73	113	0,91	1,00	0,91	1
		Koper	5.000	26	311	6,2	75	6,2	75
		Kwik							
		Lood	5.000	36	313	2,2	12	2,2	12
		Nikkel	5.000	27	146	2	10	2	10
		Zink	4.500	103	445	15	103	15	103
		Arseen	5.000	16	87	0,96	2	0,96	2
H-1	Cadmium	1.600	0,32	0,29	0,07	0,06	0,07	0,06	
		Chroom	4	72	72	0,90	0,90	0,9	0,9
		Koper	5.000	29	414	7	100	7	100
		Kwik							
		Lood	5.000	30	42	1,9	2,5	1,9	2,5
		Nikkel	500	24	23	1,8	1,7	1,8	1,7
		Zink	4.500	119	661	18	174	18	174
		Arseen	5.000	16	73	0,96	1,8	0,96	1,8

Legenda

> interventie- of grenswaarde
 ≥ streefwaarde, maar ≤ interventiewaarde

Opmerking:

- Steady state is nog niet bereikt indien in kolom C 5.000 jaar staat vermeld.
- In het geval dat er sprake is van het ontbreken van een grenswaarde voor een metaal in een meststof/bodemverbeteraar is als alternatief voor het betreffende metaal de concentratie en het gehalte van de metaalbalansberekening van het bovenliggende scenario getoetst.

Bijlage 45: Toetsresultaten van de scenario-berekeningen bloembollenteelt (Zand - kalkrijk)

Toetsresultaten van de scenario-berekeningen bloembollenteelt

Scenario	Metaal	Steady state nodem	Bodem	Grondwater		Landoppervlaktewater		
			LAC-2006	Streef- en interventiewaarden		MKN-waarden		
Zand (kalkrijk)		Jaar	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state	100 jaar	Steady state
K-1	Cadmium	1.400	0,31	0,65	0,91	2,5	0,91	2,5
	Chroom	5.000	26	283	0,55	0,94	0,55	0,94
	Koper	4.500	20	188	22	214	22	214
	Kwik							
	Lood	5.000	35	693	15	141	15	141
	Nikkel	5.000	4,9	125	0,29	9	0,29	9
	Zink	2.100	69	340	100	859	100	859
	Arseen	5.000	4,1	71	0,58	2	0,58	2
L-1	Cadmium	2.400	0,18	0,1	0,44	0,19	0,44	0,19
	Chroom	2.100	20	0	0,52	0	0,52	0
	Koper	3.800	7,9	16	8,9	18	8,9	18
	Kwik							
	Lood	5.000	18	27	8,6	12	8,6	12
	Nikkel	5.000	1,7	8,6	0,39	1,9	0,39	1,9
	Zink	2.900	26	80	27	123	27	123
	Arseen	5.000	2,8	10	0,50	0,87	0,5	0,87
M-1	Cadmium	1.300	0,44	1,1	1,5	5	1,5	5
	Chroom	5.000	35	708	0,59	1,2	0,59	1,2
	Koper	4.500	32	356	36	407	36	407
	Kwik							
	Lood	5.000	47	1138	18	206	18	206
	Nikkel	5.000	7,3	216	1,6	45	1,6	45
	Zink	2.000	95	469	154	1310	154	1310
	Arseen	5.000	7,3	229	0,75	3,3	0,75	3,3
M-2	Cadmium	1.200	0,57	1,4	2,1	7,5	2,1	7,5
	Chroom	5.000	50	1466	0,64	1,4	0,64	1,4
	Koper	4.500	64	819	72	937	72	937
	Kwik							
	Lood	5.000	53	1383	20	239	20	239
	Nikkel	5.000	16	557	3,5	113	3,5	113
	Zink	1.700	183	840	370	2852	370	2852
	Arseen	5.000	7,3	229	0,75	3,3	0,75	3,3
M-3	Cadmium	1.200	0,59	1,5	2,2	7,9	2,2	7,9
	Chroom	5.000	50	1466	0,64	1,4	0,64	1,4
	Koper	4.500	64	819	72	937	72	937
	Kwik							
	Lood	5.000	54	1429	20	245	20	245
	Nikkel	5.000	17	593	3,7	120	3,7	120
	Zink	1.700	183	840	370	2852	370	2852
	Arseen	5.000	7,3	229	0,75	3,3	0,75	3,3
N-1	Cadmium	1.000	0,20	0,22	0,51	0,57	0,51	0,57
	Chroom	2.100	20	0	0,52	0	0,52	0
	Koper	3.800	7,9	16	8,9	18	8,9	18
	Kwik							
	Lood	5.000	19	61	9	22	9	22
	Nikkel	5.000	2,6	42	0,59	8,9	0,59	8,9
	Zink	2.900	26	80	27	123	27	123
	Arseen	5.000	2,8	11	0,5	0,88	0,5	0,88
O-1	Cadmium	1.300	0,19	0,16	0,47	0,39	0,47	0,39
	Chroom	3.200	20	0	0,52	0	0,52	0
	Koper	4.400	12	83	14	94	14	94
	Kwik							
	Lood	5.000	19	58	9	21	9	21
	Nikkel	5.000	1,9	13	0,42	2,8	0,42	2,8
	Zink	2.700	29	105	32	178	32	178
	Arseen	5.000	2,9	16	0,51	1,1	0,51	1,1

Legenda

> interventie- of grenswaarde
 ≥ streefwaarde, maar ≤ interventiewaarde

Opmerking:

- Steady state is nog niet bereikt indien in kolom C 5.000 jaar staat vermeld.
- In het geval dat er sprake is van het ontbreken van een grenswaarde voor een metaal in een meststof/bodemverbeteraar is als alternatief voor het betreffende metaal de concentratie en het gehalte van de metaalbalansberekening van het bovenliggende scenario getoetst.

Bijlage 46: Overschrijdingen LAC-2006 waarden akkerbouw

Tabel B.46.1: Overschrijdingen LAC-2006 waarden voor de periode >100 jaar¹

Scenario	Bodemtype	Cd	Cr	Cu	Hg ²	Ni	Pb	Zn	As
A-1	Zand			X	-				
	Mariene klei			X	-			X	X
	Fluviatiele klei			X	-				X
B-1	Zand				-				X
	Mariene klei				-				X
	Fluviatiele klei				-				X
B-2	Zand				-	X			X
	Mariene klei	X			-	X	X		X
	Fluviatiele klei	X			-	X	X		X
C-1	Zand				-				
	Mariene klei				-				
	Fluviatiele klei				-				
D-1	Zand			X	-				
	Mariene klei			X	-			X	
	Fluviatiele klei			X	-				
D-2	Zand			X	-				X
	Mariene klei			X	-	X		X	X
	Fluviatiele klei			X	-	X			X
E-1	Zand				-				
	Mariene klei				-				
	Fluviatiele klei				-				
E-2	Zand				-				
	Mariene klei				-	X			
	Fluviatiele klei				-				
F-1	Zand			X	-				X
	Mariene klei			X	-			X	X
	Fluviatiele klei			X	-				X
F-2	Zand		X	X	-	X	X		X
	Mariene klei		X	X	-	X	X	X	X
	Fluviatiele klei		X	X	-	X	X		X
F-3	Zand		X	X	-	X	X		X
	Mariene klei		X	X	-	X	X	X	X
	Fluviatiele klei		X	X	-	X	X		X
G-1	Zand			X	-				X
	Mariene klei			X	-			X	X
	Fluviatiele klei			X	-				X
G-2	Zand			X	-	X	X		X
	Mariene klei			X	-	X	X	X	X
	Fluviatiele klei			X	-	X	X		X
H-1	Zand			X	-				X
	Mariene klei			X	-			X	X
	Fluviatiele klei			X	-				X

¹ In geval van een rode X is er sprake van een ontbrekende grenswaarde voor het betreffende metaal in een meststof/bodemverbeteraar. Als alternatief is voor het betreffende metaal de concentratie en/of het gehalte van de metaalbalansberekening van het bovenliggende bemestingsscenario overgenomen en getoetst aan de kwaliteitsnorm.

² Voor kwik zijn geen metaalbalansen opgesteld.

Bijlage 47: Overschrijdingen LAC-2006 waarden bloembollenteelt

Tabel B.47.1: Overschrijdingen LAC-2006 waarden¹

Scenario	Periode	Cd	Cr	Cu	Hg ²	Ni	Pb	Zn	As
K-1	0-100 jaar				-				
	>100 jaar		X	X	-	X	X	X	X
L-1	0-100 jaar				-				
	>100 jaar				-				
M-1	0-100 jaar				-				
	>100 jaar		X	X	-	X	X	X	X
M-2	0-100 jaar			X	-	X		X	
	>100 jaar		X	X	-	X	X	X	X
M-3	0-100 jaar			X	-	X		X	
	>100 jaar		X	X	-	X	X	X	X
N-1	0-100 jaar				-				
	>100 jaar				-	X			
O-1	0-100 jaar				-				
	>100 jaar			X	-				

¹ In geval van een rode X is er sprake van een ontbrekende grenswaarde voor het betreffende metaal in een meststof/bodemverbeteraar. Als alternatief is voor het betreffende metaal de concentratie en/of het gehalte van de metaalbalansberekening van het bovenliggende bemestingsscenario overgenomen en getoetst aan de kwaliteitsnorm.

² Voor kwik zijn geen metaalbalansen opgesteld.

Bijlage 48: Overschrijdingen streefwaarden grondwater akkerbouw (0–100 jaar)

Tabel B.48.1: Overschrijdingen streefwaarden voor grondwater voor de periode 0-100 jaar¹

Scenario	Bodemtype	Cd	Cr	Cu	Hg ²	Ni	Pb	Zn	As
A-1	Zand		X	X	-			X	
	Mariene klei				-				
B-1	Fluviatiele klei		X	X	-			X	
	Zand	X	X		-				
B-2	Mariene klei				-				
	Fluviatiele klei		X		-				
C-1	Zand	X	X		-				
	Mariene klei				-				
D-1	Fluviatiele klei		X		-				
	Zand		X	X	-			X	
D-2	Mariene klei				-				
	Fluviatiele klei		X	X	-			X	
E-1	Zand	X	X		-				
	Mariene klei				-				
E-2	Fluviatiele klei		X		-				
	Zand	X	X		-				
F-1	Mariene klei				-				
	Fluviatiele klei		X		-				
F-2	Zand	X	X	X	-			X	
	Mariene klei				-				
F-3	Fluviatiele klei		X	X	-			X	
	Zand	X	X	X	-			X	
G-1	Mariene klei				-				
	Fluviatiele klei		X		-			X	
G-2	Zand	X	X	X	-			X	
	Mariene klei				-				
H-1	Fluviatiele klei		X		-			X	
	Zand		X	X	-			X	
	Mariene klei				-				
	Fluviatiele klei		X	X	-			X	

¹ In geval van een rode X is er sprake van een ontbrekende grenswaarde voor het betreffende metaal in een meststof/bodemverbeteraar. Als alternatief is voor het betreffende metaal de concentratie en/of het gehalte van de metaalbalansberekening van het bovenliggende bemestingscenario overgenomen en getoetst aan de kwaliteitsnorm.

² Voor kwik zijn geen metaalbalansen opgesteld.

Bijlage 49: Overschrijdingen streefwaarden grondwater bloembollenteelt (0–100 jaar)

Tabel B.49.1: Overschrijdingen streefwaarden voor grondwater voor de periode 0-100 jaar¹

Scenario	Bodemtype	Cd	Cr	Cu	Hg ²	Ni	Pb	Zn	As
K-1	Zand (kalkrijk)	X		X	-		X	X	
L-1	Zand (kalkrijk)	X			-				
M-1	Zand (kalkrijk)	X		X	-		X	X	
M-2	Zand (kalkrijk)	X		X	-		X	X	
M-3	Zand (kalkrijk)	X		X	-		X	X	
N-1	Zand (kalkrijk)	X			-				
O-1	Zand (kalkrijk)	X			-				

¹ In geval van een rode X is er sprake van een ontbrekende grenswaarde voor het betreffende metaal in een meststof/bodemverbeteraar. Als alternatief is voor het betreffende metaal de concentratie en/of het gehalte van de metaalbalansberekening van het bovenliggende bemestingsscenario overgenomen en getoetst aan de kwaliteitsnorm.

² Voor kwik zijn geen metaalbalansen opgesteld.

Bijlage 50: Overschrijdingen streef- en interventiewaarden grondwater akkerbouw (>100 jaar)

Tabel B.50.1: Overschrijdingen streef- en interventiewaarden voor grondwater voor de periode >100 jaar^{1,3}

Scenario	Bodemtype	Cd	Cr	Cu	Hg ²	Ni	Pb	Zn	As
A-1	Zand		X	X	-			X	
	Mariene klei			X	-			X	
	Fluviatiele klei		X	X	-			X	
B-1	Zand	X	X		-				
	Mariene klei				-				
B-2	Fluviatiele klei		X		-				
	Zand	X	X		-	X	X		
	Mariene klei	X			-				
C-1	Fluviatiele klei	X	X		-	X	X		
	Zand	X	X		-				
	Mariene klei				-				
D-1	Fluviatiele klei		X		-				
	Zand		X	X	-			X	
	Mariene klei			X	-			X	
D-2	Fluviatiele klei		X	X	-			X	
	Zand		X	X	-	X	X	X	
	Mariene klei		X	X	-			X	
E-1	Fluviatiele klei		X	X	-	X		X	
	Zand	X	X		-				
	Mariene klei				-				
E-2	Fluviatiele klei		X		-				
	Zand	X	X		-				
	Mariene klei	X			-				
F-1	Fluviatiele klei	X	X		-				
	Zand		X	X	-			X	
	Mariene klei		X	X	-			X	
F-2	Fluviatiele klei		X	X	-			X	
	Zand	X	X	X	-	X	X	X	
	Mariene klei	X	X	X	-	X	X	X	
F-3	Fluviatiele klei	X	X	X	-	X	X	X	
	Zand	X	X	X	-	X	X	X	
	Mariene klei	X	X	X	-	X	X	X	
G-1	Fluviatiele klei	X	X	X	-	X	X	X	
	Zand		X	X	-		X	X	
	Mariene klei		X	X	-			X	
G-2	Fluviatiele klei		X	X	-			X	
	Zand	X	X	X	-	X	X	X	
	Mariene klei		X	X	-			X	
H-1	Fluviatiele klei		X	X	-	X	X	X	
	Zand		X	X	-			X	
	Mariene klei			X	-			X	
	Fluviatiele klei		X	X	-			X	

¹ In geval van een X is er sprake van een ontbrekende grenswaarde voor het betreffende metaal in een meststof/bodemverbeteraar. Als alternatief is voor het betreffende metaal de concentratie en/of het gehalte van de metaalbalansberekening van het bovenliggende bemestingsscenario overgenomen en getoetst aan de kwaliteitsnorm.

² Voor kwik zijn geen metaalbalansen opgesteld.

³ ≥ streefwaarde, maar ≤ interventiewaarde = X; > interventiewaarde = X

Bijlage 51: Overschrijdingen streef- en interventiewaarden grondwater bloembollenteelt (>100 jaar)

Tabel B.51.1: Overschrijdingen streef- en interventiewaarden voor grondwater voor de periode >100 jaar^{1,3}

Scenario	Bodemtype	Cd	Cr	Cu	Hg ²	Ni	Pb	Zn	As
K-1	Zand (kalkrijk)	X		X	-		X	X	
L-1	Zand (kalkrijk)			X	-			X	
M-1	Zand (kalkrijk)	X	X	X	-	X	X	X	
M-2	Zand (kalkrijk)	X	X	X	-	X	X	X	
M-3	Zand (kalkrijk)	X	X	X	-	X	X	X	
N-1	Zand (kalkrijk)	X		X	-		X	X	
O-1	Zand (kalkrijk)			X	-		X	X	

¹ In geval van een X is er sprake van een ontbrekende grenswaarde voor het betreffende metaal in een meststof/bodemverbeteraar. Als alternatief is voor het betreffende metaal de concentratie en/of het gehalte van de metaalbalansberekening van het bovenliggende bemestingsscenario overgenomen en getoetst aan de kwaliteitsnorm.

² Voor kwik zijn geen metaalbalansen opgesteld.

³ ≥ streefwaarde, maar ≤ interventiewaarde = X; > interventiewaarde = X

Bijlage 52: Overschrijdingen milieukwaliteitsnormen oppervlaktewater akkerbouw (0-100 jaar)

Tabel B.52.1: *Overschrijdingen milieukwaliteitsnormen oppervlaktewater voor de periode 0-100 jaar¹*

Scenario	Bodemtype	Cd	Cr	Cu	Hg ²	Ni	Pb	Zn	As
A-1	Zand	X		X	-		X	X	
	Mariene klei			X	-			X	
	Fluviatiele klei	X		X	-			X	
B-1	Zand	X		X	-		X	X	
	Mariene klei	X			-			X	
	Fluviatiele klei	X		X	-			X	
B-2	Zand	X		X	-		X	X	
	Mariene klei	X			-			X	
	Fluviatiele klei	X		X	-			X	
C-1	Zand	X		X	-		X	X	
	Mariene klei				-			X	
	Fluviatiele klei	X		X	-			X	
D-1	Zand	X		X	-		X	X	
	Mariene klei			X	-			X	
	Fluviatiele klei	X		X	-			X	
D-2	Zand	X		X	-		X	X	
	Mariene klei			X	-			X	
	Fluviatiele klei	X		X	-			X	
E-1	Zand	X		X	-		X	X	
	Mariene klei				-			X	
	Fluviatiele klei	X		X	-			X	
E-2	Zand	X		X	-		X	X	
	Mariene klei	X			-			X	
	Fluviatiele klei	X		X	-			X	
F-1	Zand	X		X	-		X	X	
	Mariene klei			X	-			X	
	Fluviatiele klei	X		X	-			X	
F-2	Zand	X		X	-		X	X	
	Mariene klei	X		X	-			X	
	Fluviatiele klei	X		X	-			X	
F-3	Zand	X		X	-		X	X	
	Mariene klei	X		X	-			X	
	Fluviatiele klei	X		X	-			X	
G-1	Zand	X		X	-		X	X	
	Mariene klei			X	-			X	
	Fluviatiele klei	X		X	-			X	
G-2	Zand	X		X	-		X	X	
	Mariene klei	X		X	-			X	
	Fluviatiele klei	X		X	-			X	
H-1	Zand	X		X	-		X	X	
	Mariene klei			X	-			X	
	Fluviatiele klei	X		X	-			X	

¹ In geval van een rode X is er sprake van een ontbrekende grenswaarde voor het betreffende metaal in een meststof/bodemverbeteraar. Als alternatief is voor het betreffende metaal de concentratie en/of het gehalte van de metaalbalansberekening van het bovenliggende bemestingsscenario overgenomen en getoetst aan de kwaliteitsnorm.

² Voor kwik zijn geen metaalbalansen opgesteld.

Bijlage 53: Overschrijdingen milieukwaliteitsnormen oppervlaktewater bloembollenteelt (0-100 jaar)

Tabel B.53.1: *Overschrijdingen milieukwaliteitsnormen oppervlaktewater voor de periode 0-100 jaar¹*

Scenario	Bodemtype	Cd	Cr	Cu	Hg ²	Ni	Pb	Zn	As
K-1	Zand (kalkrijk)	X		X	-		X	X	
L-1	Zand (kalkrijk)	X		X	-		X	X	
M-1	Zand (kalkrijk)	X		X	-		X	X	
M-2	Zand (kalkrijk)	X		X	-		X	X	
M-3	Zand (kalkrijk)	X		X	-		X	X	
N-1	Zand (kalkrijk)	X		X	-		X	X	
O-1	Zand (kalkrijk)	X		X	-		X	X	

¹ In geval van een rode X is er sprake van een ontbrekende grenswaarde voor het betreffende metaal in een meststof/bodemverbeteraar. Als alternatief is voor het betreffende metaal de concentratie en/of het gehalte van de metaalbalansberekening van het bovenliggende bemestingsscenario overgenomen en getoetst aan de kwaliteitsnorm.

² Voor kwik zijn geen metaalbalansen opgesteld.

Bijlage 54: Overschrijdingen milieukwaliteitsnormen oppervlaktewater akkerbouw (>100 jaar)

Tabel B.54.1: *Overschrijdingen milieukwaliteitsnormen oppervlaktewater voor de periode >100 jaar¹*

Scenario	Bodemtype	Cd	Cr	Cu	Hg ²	Ni	Pb	Zn	As
A-1	Zand			X	-			X	
	Mariene klei			X	-			X	
	Fluviatiele klei			X	-			X	
B-1	Zand	X			-			X	
	Mariene klei	X			-				
	Fluviatiele klei	X			-				
B-2	Zand	X			-	X	X	X	
	Mariene klei	X			-		X		
	Fluviatiele klei	X			-	X	X		
C-1	Zand	X			-			X	
	Mariene klei	X			-				
	Fluviatiele klei	X			-			X	
D-1	Zand			X	-			X	
	Mariene klei			X	-			X	
	Fluviatiele klei			X	-			X	
D-2	Zand	X		X	-		X	X	
	Mariene klei	X		X	-			X	
	Fluviatiele klei	X		X	-		X	X	
E-1	Zand	X			-			X	
	Mariene klei	X			-				
	Fluviatiele klei	X			-			X	
E-2	Zand	X			-		X	X	
	Mariene klei	X			-				
	Fluviatiele klei	X			-			X	
F-1	Zand	X		X	-		X	X	
	Mariene klei	X		X	-			X	
	Fluviatiele klei	X		X	-			X	
F-2	Zand	X		X	-	X	X	X	
	Mariene klei	X		X	-		X	X	
	Fluviatiele klei	X		X	-	X	X	X	
F-3	Zand	X		X	-	X	X	X	
	Mariene klei	X		X	-		X	X	
	Fluviatiele klei	X		X	-	X	X	X	
G-1	Zand	X		X	-		X	X	
	Mariene klei	X		X	-		X	X	
	Fluviatiele klei	X		X	-		X	X	
G-2	Zand	X		X	-	X	X	X	
	Mariene klei	X		X	-		X	X	
	Fluviatiele klei	X		X	-	X	X	X	
H-1	Zand			X	-			X	
	Mariene klei			X	-			X	
	Fluviatiele klei			X	-			X	

¹ In geval van een rode X is er sprake van een ontbrekende grenswaarde voor het betreffende metaal in een meststof/bodemverbeteraar. Als alternatief is voor het betreffende metaal de concentratie en/of het gehalte van de metaalbalansberekening van het bovenliggende bemestingsscenario overgenomen en getoetst aan de kwaliteitsnorm.

² Voor kwik zijn geen metaalbalansen opgesteld.

Bijlage 55: Overschrijdingen milieukwaliteitsnormen oppervlaktewater bloembollenteelt (>100 jaar)

Tabel B.55.1: *Overschrijdingen milieukwaliteitsnormen oppervlaktewater voor de periode >100 jaar¹*

Scenario	Bodemtype	Cd	Cr	Cu	Hg ²	Ni	Pb	Zn	As
K-1	Zand (kalkrijk)	X		X	-		X	X	
L-1	Zand (kalkrijk)	X		X	-		X	X	
M-1	Zand (kalkrijk)	X		X	-	X	X	X	
M-2	Zand (kalkrijk)	X		X	-	X	X	X	
M-3	Zand (kalkrijk)	X		X	-	X	X	X	
N-1	Zand (kalkrijk)	X		X	-		X	X	
O-1	Zand (kalkrijk)	X		X	-		X	X	

¹ In geval van een rode X is er sprake van een ontbrekende grenswaarde voor het betreffende metaal in een meststof/bodemverbeteraar. Als alternatief is voor het betreffende metaal de concentratie en/of het gehalte van de metaalbalansberekening van het bovenliggende bemestingsscenario overgenomen en getoetst aan de kwaliteitsnorm.

² Voor kwik zijn geen metaalbalansen opgesteld.

Bijlage 56: Bemestingsmodel

De bemestingsmodel (reken sheet) is separaat in de vorm van een Excel-bestand bij dit rapport gevoegd. De werkbladen zijn beveiligd met een wachtwoord: Bemestingsmodel

Bijlage 57: Metaalbalans akkerbouw

Het betreft een rekensheet welke separaat in de vorm van een Excel-bestand bij dit rapport is gevoegd. De werkbladen zijn beveiligd met een wachtwoord: Metaalbalansmodel

Bijlage 58: Metaalbalans bloembollenteelt

Het betreft een rekensheet welke separaat in de vorm van een Excel-bestand bij dit rapport is gevoegd. De werkbladen zijn beveiligd met een wachtwoord: Metaalbalansmodel